

PROJETO DA REDE AUTOMÁTICA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA PARA A REGIÃO DE CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO-MG

RTC140204-R1



**PROJETO DA REDE AUTOMÁTICA DE MONITORAMENTO
DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA PARA A REGIÃO
DE CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO-MG**

RTC140204-R1

Conceição do Mato Dentro, MG
Junho de 2015

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. METODOLOGIA	7
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
3.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA ÁREA DE ESTUDO RELACIONADAS ÀS EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO.....	17
4. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR.....	23
5. INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	26
5.1. PROJETO MINAS-RIO (ANGLO AMERICAN)	27
5.1.1. Caracterização do Empreendimento	27
5.1.2. Tipos de Fontes Emissoras Inventariadas	29
5.1.3. Inventário de Emissões Atmosféricas do Projeto Minas-Rio.....	32
5.2. EMISSÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS.....	37
5.3. EMISSÕES VEICULARES	40
5.4. POSTOS DE COMBUSTÍVEIS.....	43
5.5. EMISSÕES BIOGÊNICAS.....	45
5.6. EMISSÕES DE QUEIMADAS	49
6. MODELO METEOROLÓGICO E DE QUALIDADE DO AR	52
6.1. MODELO METEOROLÓGICO WRF	52
6.2. MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA CMAQ	58
6.2.1. Meteorologia	58
6.2.2. Condições Iniciais e de Contorno	59
6.2.3. Alocação Regional das Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos	59
6.2.4. Mecanismo Fotoquímico.....	60
6.2.5. Processos Químicos e de Transporte do Modelo CMAQ.....	61
7. ANÁLISE DOS DADOS DA QUALIDADE DO AR.....	64
7.1. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS).....	67
7.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR QUE 10 µm (PM ₁₀).....	72
7.3. CONCENTRAÇÕES ATUAIS DE PARTÍCULAS NA ÁREA DE ESTUDO	77
8. RESULTADOS DA MODELAGEM ATMOSFÉRICA	78
8.1. PONTOS RECEPTORES DISCRETOS	80
8.2. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS).....	83
8.3. MATERIAL PARTICULADO MENOR QUE 10 µm (PM ₁₀).....	86
8.4. MATERIAL PARTICULADO MENOR QUE 2,5 µm (PM _{2.5}).....	89
8.5. DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO ₂)	92

8.6.	ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NO _x).....	95
8.7.	DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂).....	98
8.8.	MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	101
8.9.	OZÔNIO (O ₃).....	104
8.10.	COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)	108
9.	DIMENSIONAMENTO DA REDE AUTOMÁTICA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA DE CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO	111
9.1.	METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO DA RAMQAM-CMD	113
9.1.1.	Figuras de Mérito	113
9.1.2.	Esferas de Influência	114
9.2.	LOCAIS CANDIDATOS AVALIADOS	117
9.3.	PROPOSTA de CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA RAMQAM-CMD	124
9.4.	ESPECIFICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS DOS EQUIPAMENTOS DA REDE DE MONITORAMENTO	131
9.4.1.	Analisadores de Qualidade do Ar	131
9.4.2.	Sensores Meteorológicos	134
9.4.3.	Equipamentos para a Aquisição e Telemetria de Dados de Qualidade do Ar e Meteorologia	135
9.4.4.	Características das Estações Remotas	136
9.4.5.	Características do Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar.....	137
9.4.6.	Fluxo de Dados.....	137
10.	SÍNTESE.....	139
11.	EQUIPE TÉCNICA.....	143
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento sistemático das concentrações de poluentes presentes na atmosfera é uma ação fundamental para garantir gestão eficaz da qualidade do ar de uma região, estando em sintonia com o conhecimento das condições da atmosfera e com o controle das emissões atmosféricas, sendo uma ferramenta fundamental para a melhoria contínua da qualidade ambiental.

Atualmente, na região de Conceição do Mato Dentro-MG, encontra-se em operação o Projeto Minas-Rio, da empresa Anglo American, que conta com uma mina de exploração de minério de ferro, com capacidade de produção de 26,5 milhões de toneladas por ano. O minério de ferro, extraído e beneficiado em Conceição do Mato Dentro-MG, é transportado por meio do maior mineroduto do mundo, com 529 km de extensão, até o Porto do Açu, localizado em São João da Barra-RJ (Anglo American, 2015).

As atividades relacionadas ao processo de extração e beneficiamento de minério de ferro do Projeto Minas-Rio possuem potencial de emissão de poluentes atmosféricos, notadamente de material particulado, podendo gerar impactos sobre a qualidade do ar da área de influência do empreendimento.

A região de Conceição do Mato Dentro possui outras atividades com potencial de geração de emissões atmosféricas, principalmente associadas aos núcleos urbanos, como as emissões decorrentes do tráfego de veículos, do uso de combustíveis e solventes em residências e comércios e do abastecimento de veículos em postos de combustíveis. Além destas, existem também as emissões atmosféricas naturais e as decorrentes de queimadas.

O objetivo principal deste estudo é o dimensionamento da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Conceição do Mato Dentro (RAMQAM-CMD).

A rede projetada será capaz de cobrir com eficácia a região sujeita aos impactos das atividades de mineração, emissões veiculares, emissões urbanas e outras fontes de poluição significativas da região de Conceição do Mato Dentro. A RAMQAM-CMD permitirá o acompanhamento contínuo da qualidade do ar e condições meteorológicas dessa região, bem como a comparação dos valores medidos com os padrões de qualidade do ar vigentes.

Como passos intermediários para alcançar o conhecimento necessário para a realização do dimensionamento da RAMQAM-CMD, este estudo apresenta também o inventário de emissões atmosféricas da região de Conceição do Mato Dentro e a análise da influência dessas emissões para a qualidade do ar.

O capítulo 2 apresenta os passos metodológicos seguidos para o desenvolvimento deste estudo. No capítulo 3 são apresentadas as principais características do terreno da área de estudo.

Os requisitos relacionados à qualidade do ar estabelecidos pela legislação vigente são apresentados no capítulo 4 que trata dos padrões de qualidade do ar.

A caracterização das fontes emissoras de poluentes atmosféricos, traduzido como o inventário de emissões atmosféricas da área de estudo é apresentado no Capítulo 5. O inventário de emissões atmosféricas foi realizado seguindo metodologias recomendadas por agências internacionais de meio ambiente.

No capítulo 6 são apresentados os principais resultados que caracterizam a descrição das condições meteorológicas da área de estudo. Para a caracterização das condições

meteorológicas aplicadas à modelagem da dispersão de poluentes foi utilizado o modelo meteorológico WRF (*Weather Research and Forecasting*).

No capítulo 7 são apresentados os principais resultados obtidos com o monitoramento da qualidade do ar atualmente desenvolvido na área de estudo, que é constituído por uma rede manual de monitoramento.

Após a assimilação de informações do terreno, inventário de emissões atmosféricas e dados meteorológicos foi aplicado o modelo de dispersão atmosférica para calcular as concentrações dos poluentes na área de estudo. O capítulo 8 apresenta os principais resultados obtidos com a modelagem matemática da dispersão de poluentes, realizada com a aplicação do modelo CMAQ (*Community Multiscale Air Quality*).

O dimensionamento da RAMQAM-CMD, objetivo principal deste estudo, foi realizado com a aplicação do método de Figuras de Mérito e Esferas de Influência, tendo como base todo o conhecimento obtido em cada etapa do estudo. O capítulo 9 apresenta as principais considerações e resultados, além da proposta de configuração da RAMQAM-CMD.

2. METODOLOGIA

A fim de possibilitar o conhecimento sobre a dinâmica da qualidade do ar da área de estudo e o adequado projeto da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Conceição do Mato Dentro-MG (RAMQAM-CMD), este estudo foi desenvolvido conforme os passos metodológicos descritos a seguir:

❑ Reconhecimento, demarcação, e caracterização dos atributos geográficos da área de estudo

Nesta etapa a área de estudo foi caracterizada, considerando-se os atributos geográficos relevantes como relevo, uso e ocupação do terreno, rugosidade, albedo, entre outras informações. Estes dados foram caracterizados em escala compatível com a execução dos modelos meteorológicos e de qualidade do ar, tendo como fontes de informação as bases do *United States Geological Survey* (USGS).

❑ Caracterização das condições meteorológicas da área de estudo

Contempla a obtenção de dados históricos de meteorologia local e de escala global, seguido de modelagem das condições meteorológicas da área de estudo com a aplicação do modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF).

Os registros de dados históricos de clima e condições meteorológicas foram obtidos a partir das séries temporais disponíveis em estações de monitoramento situadas na área de estudo e regiões circunvizinhas.

Para a aplicação do WRF, foram utilizados dados meteorológicos da base especializada *Global Forecast System* (GFS), disponibilizados pelo *National Centers for Environmental Prediction / National Oceanic and Atmospheric Administration* (NCEP/NOAA). A partir dos dados de terreno e meteorológicos de escala global, o modelo WRF possibilitou a geração de informações meteorológicas de superfície e altitude para a área de estudo.

A modelagem WRF garantiu uma representação abrangente das condições meteorológicas da área de estudo, que devido à elevada complexidade orográfica, não seria viabilizada a partir da utilização de dados gerados pontualmente em estações meteorológicas existentes na região.

Os dados obtidos nesta etapa foram devidamente analisados, validados e compilados para a aplicação do modelo de qualidade do ar.

❑ Inventário das fontes emissoras de poluentes atmosféricos da área de estudo

O inventário de emissões atmosféricas de Conceição do Mato Dentro, incluindo os municípios de Alvorada de Minas e Dom Joaquim, contemplou as principais fontes emissoras da região, dentre elas as fontes emissoras da empresa Anglo American (Projeto Minas-Rio) e as emissões urbanas relacionadas ao tráfego de veículos, postos de abastecimento de combustíveis e ao uso de solventes e combustíveis em residências e comércios da região. Além disso, o inventário considerou o efeito das emissões naturais (biogênicas) que ocorrem na região.

O inventário foi realizado com a adequada caracterização das fontes, estimativas das taxas de emissões de poluentes, regime de emissão e forma de lançamento dos poluentes na atmosfera.

Foram quantificadas as taxas de emissão dos seguintes poluentes atmosféricos:

- ❑ Material particulado total (PM);
- ❑ Material particulado menor que 10 μm (PM₁₀);
- ❑ Dióxido de enxofre (SO₂);
- ❑ Óxidos de nitrogênio (NO_x);
- ❑ Monóxido de carbono (CO);
- ❑ Compostos orgânicos voláteis (COV).

As estimativas de emissões dos poluentes foram realizadas com base em metodologias específicas para esta finalidade, tendo como referência principal o protocolo para inventário de emissões atmosféricas publicado pelo *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) da U.S. *Environmental Protection Agency* (USEPA), considerando para tal, modelos e fatores de emissão, balanços de massa, dentre outras alternativas.

Os dados necessários para a caracterização das fontes emissoras do Projeto Minas Rio, foram disponibilizados pela Anglo American, incluindo informações sobre o processo produtivo, localização das fontes e unidades operacionais, fluxogramas das etapas de produção, leiautes, equipamentos e tecnologias de controle e dados de produção e movimentação de materiais para o cenário de operação. Também foi realizada visita de campo ao empreendimento para a coleta de dados pela equipe técnica da EcoSoft.

Para a caracterização das fontes emissoras urbanas, contou-se com o apoio da Secretaria de Meio Ambiente de Conceição do Mato Dentro, e com a disponibilização de informações por órgãos estaduais e nacionais de trânsito, dados de vendas de combustíveis disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), dados populacionais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e dados de consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) disponibilizados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

❑ Modelagem de qualidade do ar

Nesta etapa foi realizada a análise da influência das fontes emissoras inventariadas em Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim, por meio da geração de cenários de qualidade do ar para os poluentes avaliados, utilizando o modelo matemático de dispersão *Community Multiscale Air Quality Model* (CMAQ), recomendado pela USEPA.

Esta etapa foi de fundamental importância para o entendimento sobre a distribuição dos níveis de poluentes atmosféricos na área de estudo e possibilitou a identificação das áreas mais susceptíveis aos potenciais impactos associados às emissões inventariadas na região.

A dispersão de poluentes simulada pelo CMAQ é calculada com base na solução numérica da equação diferencial de conservação da espécie química, utilizando campos meteorológicos também resolvidos numericamente. O modelo é fisicamente consistente e calcula os resultados de concentrações em regime transiente, sendo a abordagem numérica a mais acurada atualmente disponível para a solução de escoamentos e cálculo das concentrações de poluentes na atmosfera.

❑ Dimensionamento da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Conceição do Mato Dentro-MG (RAMQAM-CMD)

O monitoramento da qualidade do ar de uma região deve ser realizado por uma rede de monitoramento especificamente projetada para tal finalidade, de modo que o arranjo obtido

com as estações de medição possa garantir que o monitoramento seja representativo, suficiente, abrangente e eficiente.

Neste estudo, a partir do conhecimento construído nas etapas anteriores, o dimensionamento da RAMQAM-CMD foi realizado com base nos seguintes conceitos:

- ❑ Estações Candidatas: consistem dos locais previamente selecionados para serem avaliados quanto à possibilidade de integrarem a rede de monitoramento. Nesta fase, são analisados os requisitos mínimos necessários para sítios de medição de qualidade do ar, tais como: condições mínimas de infraestrutura, área física, rede de energia elétrica e de comunicação remota, segurança (possibilidade de restrição de acesso ao local), ambiente aberto e ventilado (representativo da região no entorno) e isento de fontes interferentes na proximidade.
- ❑ Figuras de Mérito: podem ser entendidas como a avaliação da necessidade de determinada área ser monitorada, levando-se em consideração os níveis de poluentes nela incidentes, conjuntamente com outras temáticas relevantes a serem consideradas, destacando-se a densidade populacional da região. Desta forma, as áreas prioritárias ao monitoramento são orientadas como aquelas mais habitadas e mais sujeitas às alterações de qualidade do ar.
- ❑ Esferas de Influência: As esferas de influência, segundo a metodologia aplicada, são calculadas com base em um raio de cobertura e um nível de eficiência de cobertura preconizado para a rede de monitoramento, levando-se em consideração a covariância espacial das concentrações de poluentes identificadas no local de monitoramento escolhido em relação às demais células da malha de modelagem. As concentrações de base para o algoritmo de cálculo das esferas de influência correspondem aos cenários de qualidade do ar médios horários calculados pelo modelo CMAQ.

Em síntese, as esferas de influência são as áreas representadas (cobertas) por cada estação de monitoramento, com relação ao impacto proporcionado pelas fontes emissoras consideradas.

Após a aplicação dos algoritmos de avaliação e otimização da rede de monitoramento foi definida a configuração da RAMQAM-CMD, com a definição dos locais de monitoramento, respectivos parâmetros de qualidade do ar e meteorológicos a serem monitorados, bem como as tecnologias de monitoramento recomendadas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi dimensionada para cobrir a região potencialmente sujeita à influência das emissões atmosféricas decorrentes das fontes emissoras inventariadas no município de Conceição do Mato Dentro, incluindo os municípios Alvorada de Minas e Dom Joaquim.

A delimitação da área de estudo tem início com a definição de um domínio computacional para a aplicação dos modelos matemáticos, especialmente o modelo de qualidade do ar, sendo requisitos fundamentais para esta definição a abrangência e a resolução da modelagem.

Quanto à abrangência, a área delimitada deve ser extensa o suficiente para possibilitar a identificação das máximas concentrações de poluentes na atmosfera proporcionadas pelas fontes emissoras analisadas e, simultaneamente, possibilitar a visualização do alcance das plumas desses poluentes na área estudada.

Quanto à resolução da modelagem, definida pela proximidade entre os pontos receptores da grade utilizada, esta deve ser suficiente para a detecção dos gradientes de concentrações de poluentes nas áreas de interesse, de forma mais detalhada possível, sem comprometer os limites de resolução do modelo e dos recursos computacionais disponíveis.

A área de estudo foi definida como um quadrado de aproximadamente 50 km de lado, subdividido em células de 1 km x 1 km (1 km²), totalizando 2.500 pontos receptores. A Figura 3.1 apresenta a delimitação da área de estudo, enquanto a Figura 3.2 apresenta a malha computacional utilizada.

O modelo WRF, utilizado para a reprodução das condições meteorológicas da área de estudo, utiliza ainda domínios computacionais de maior escala para assimilação de fenômenos meteorológicos de grande e mesoescala (domínios telescópicos, descritos mais detalhadamente na seção 6.1). O domínio de maior resolução do WRF é coincidente com a área de estudo delimitada, para a qual são assimilados os resultados de qualidade do ar calculados pelo modelo CMAQ.

O relevo da área de estudo foi discretizado com resolução idêntica à da malha computacional adotada para o modelo matemático de qualidade do ar, ou seja, a altitude do relevo é apresentada para cada célula da malha computacional. Na Figura 3.3 é apresentado o relevo médio por km² da área de estudo, com altitudes do terreno variando de 520 a 1.560 m.

O uso e a ocupação do terreno de determinada região é fator determinante para a caracterização da rugosidade do solo, que por sua vez influencia na geração de turbulência mecânica e alteração dos escoamentos do ar na baixa troposfera e, consequentemente, na dispersão dos poluentes. Além disso, o uso e ocupação do terreno exercem também importante papel para a definição do fluxo de energia em uma região, sendo que para diferentes características da cobertura da superfície são identificados diferentes albedos (capacidade de reflexão de uma superfície). As Figuras 3.4, 3.5 e 3.6 apresentam, respectivamente, o uso e ocupação do solo, o albedo e a rugosidade do solo da área de estudo.

Figura 3.1 – Delimitação da Área de Estudo da Qualidade do Ar de Conceição do Mato Dentro

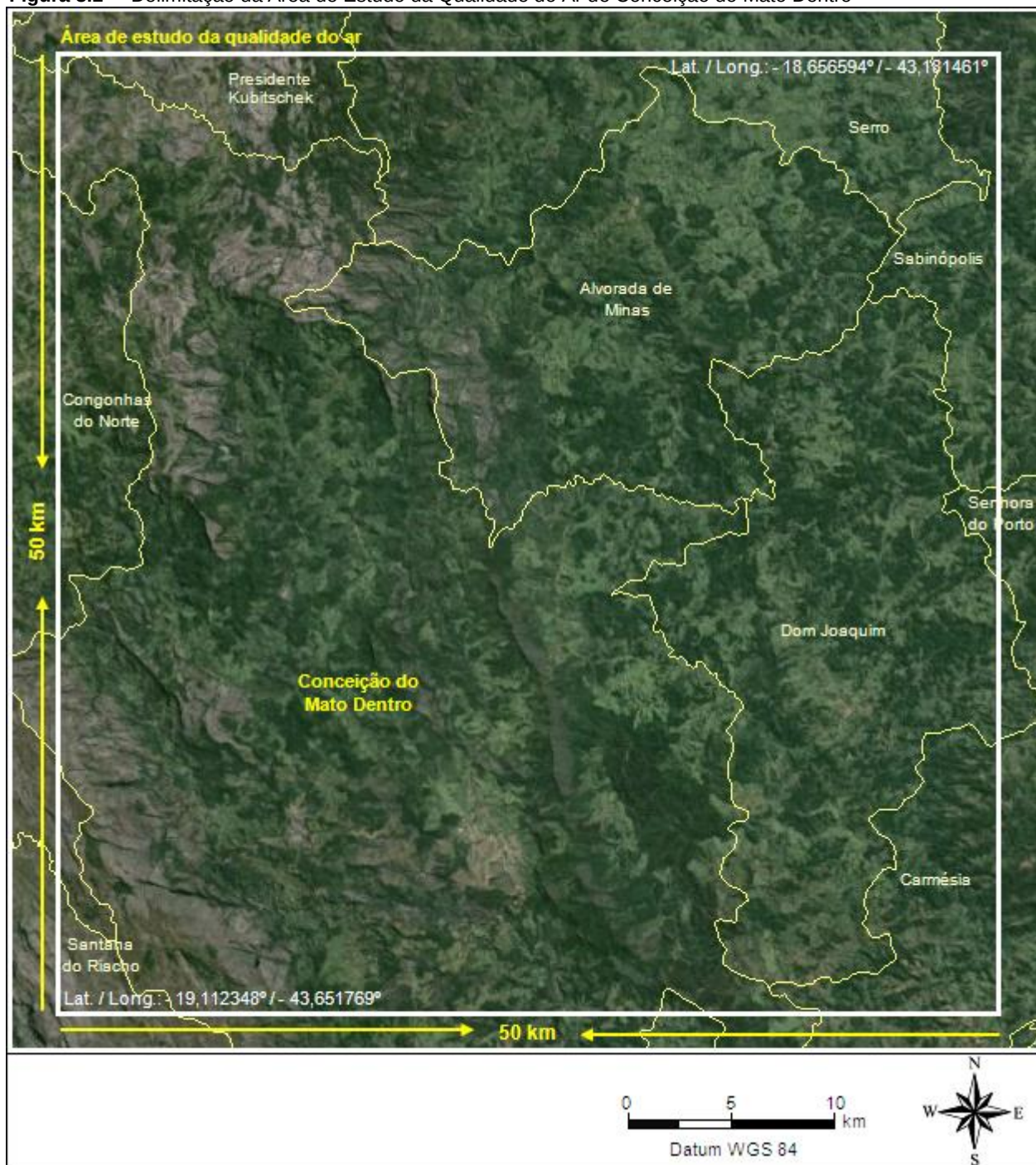


Figura 3.2 – Matriz de Receptores Utilizada da Área de Estudo

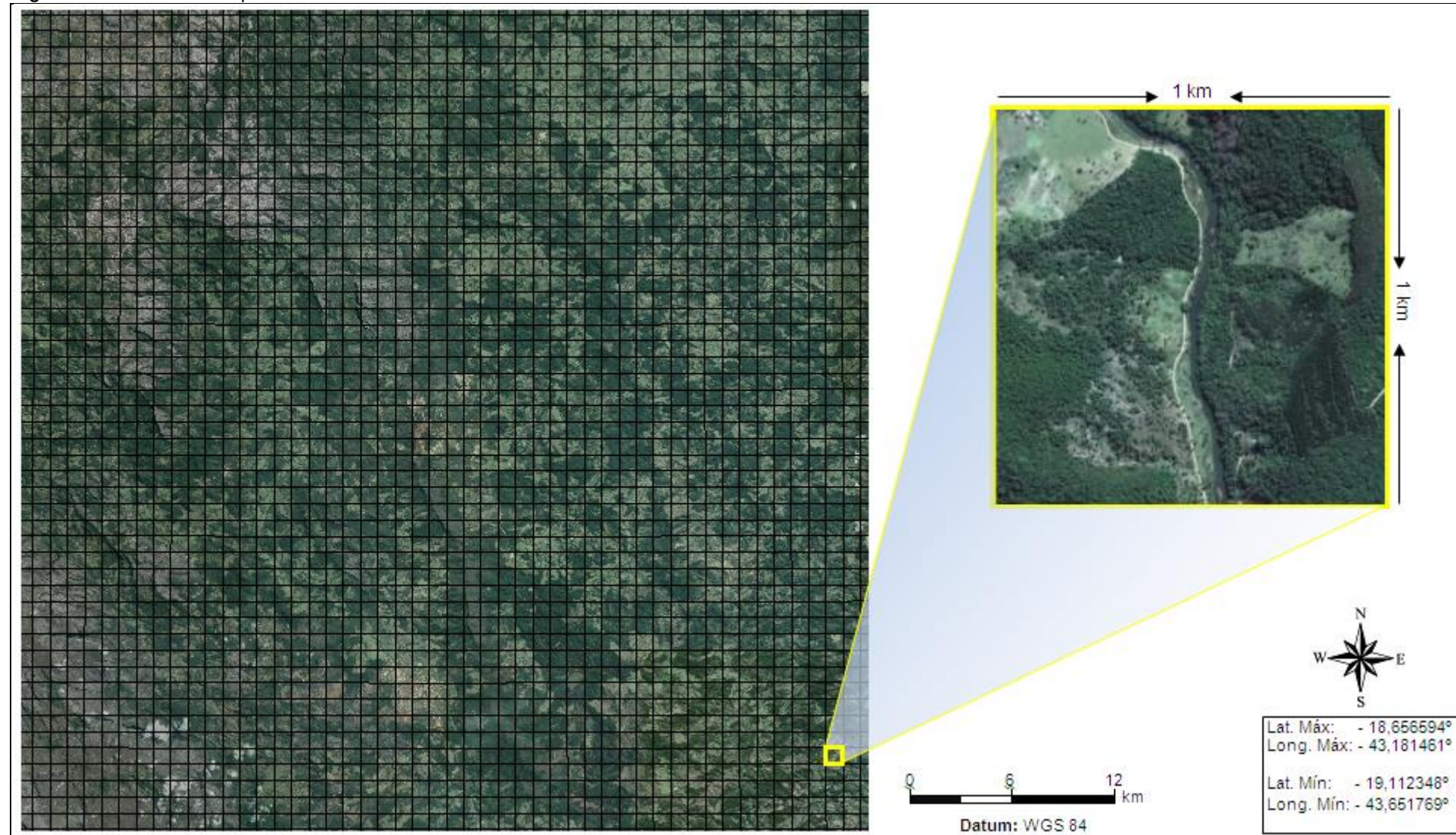


Figura 3.3 - Estratificação do Relevo da Área de Estudo

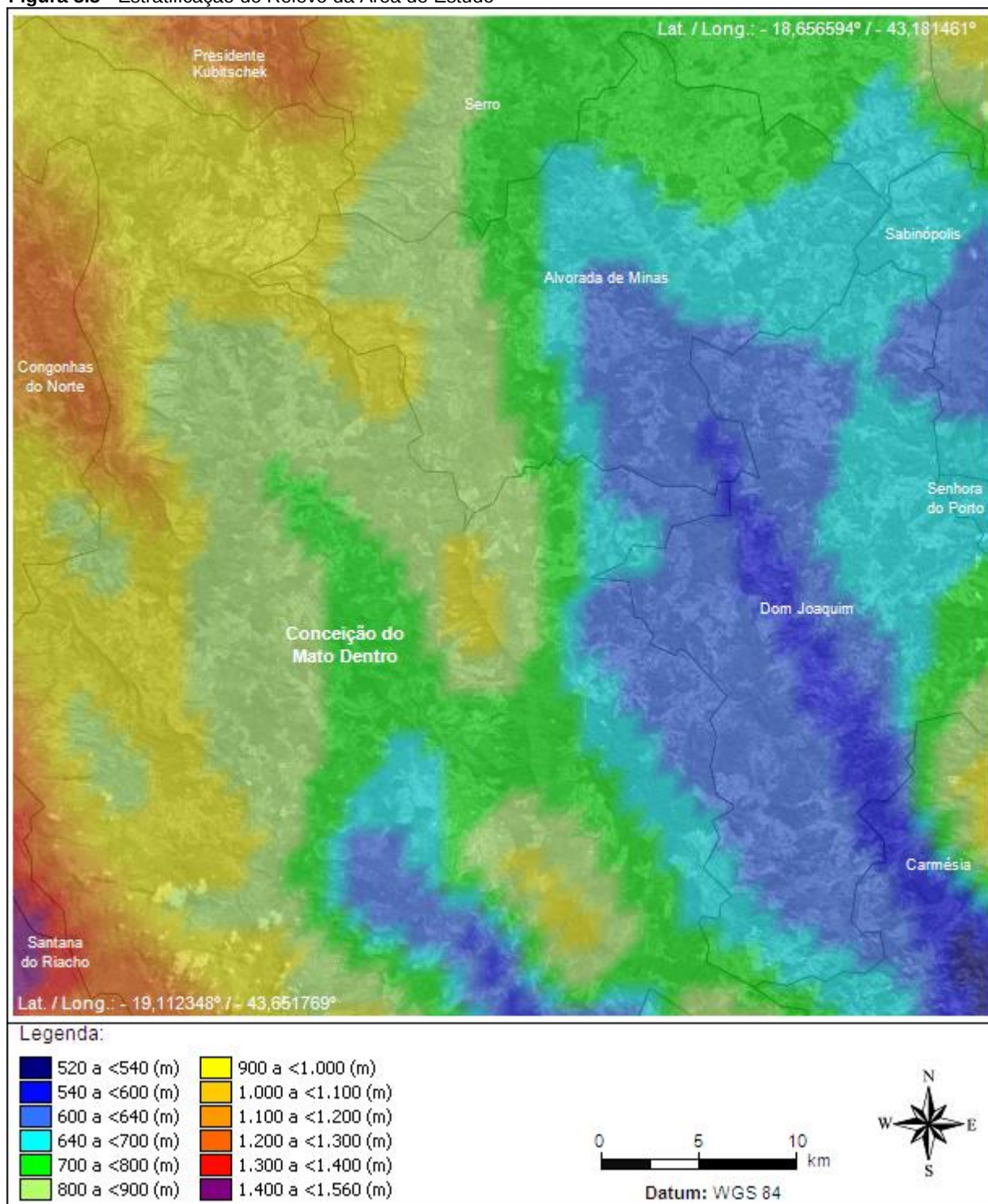


Figura 3.4 – Uso e Ocupação do Solo da Área de Estudo

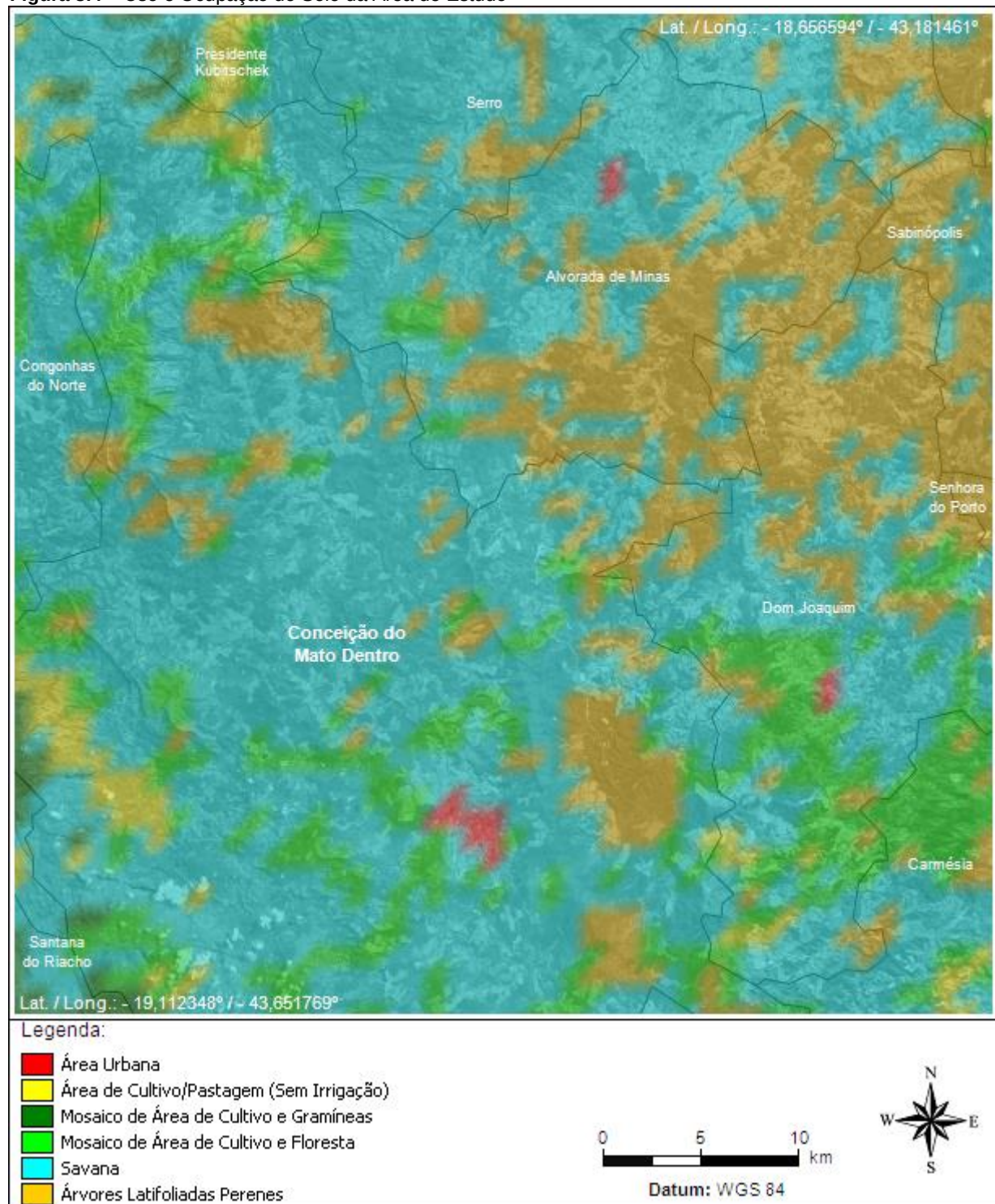


Figura 3.5 – Albedo Discretizado da Área de Estudo

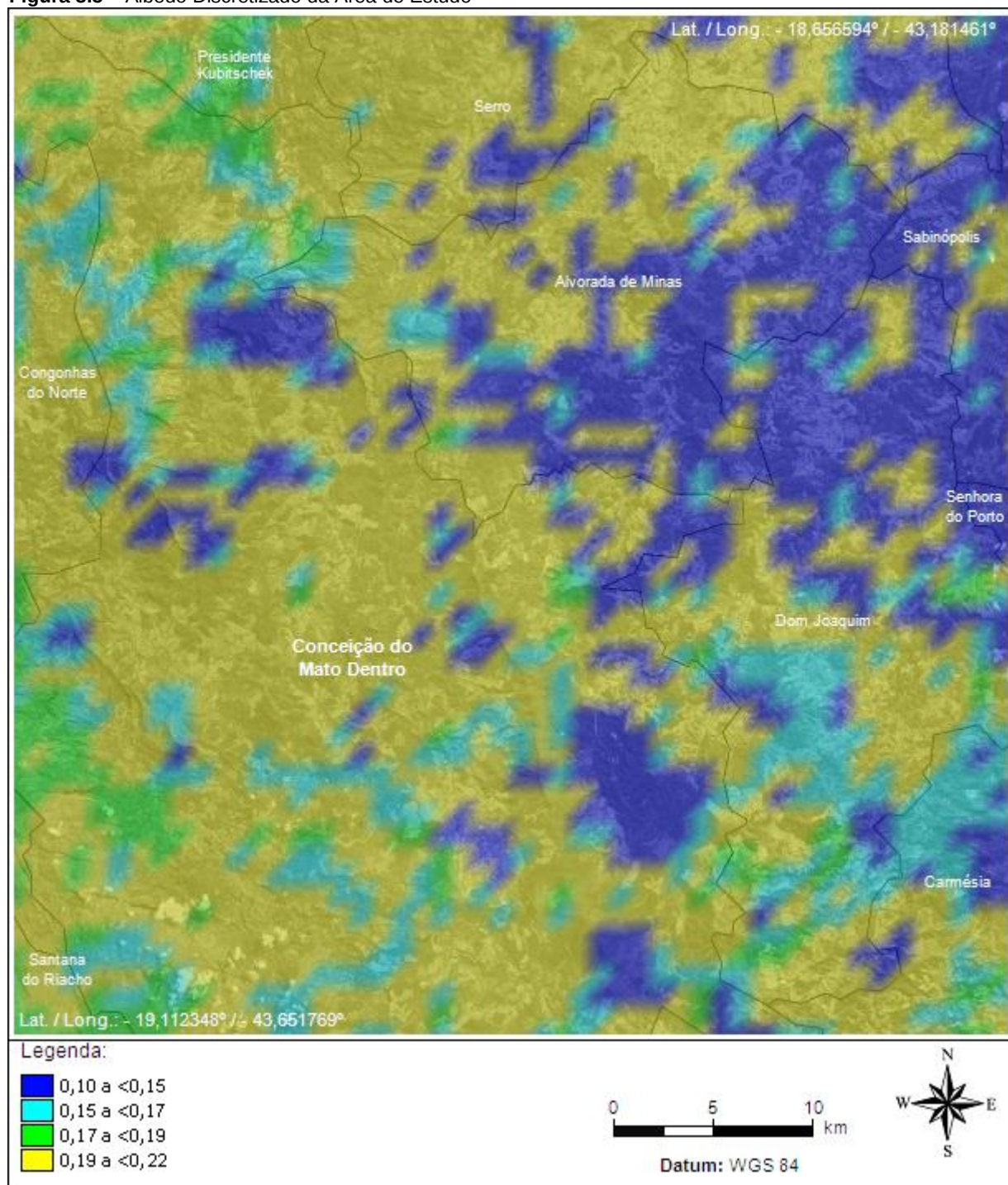
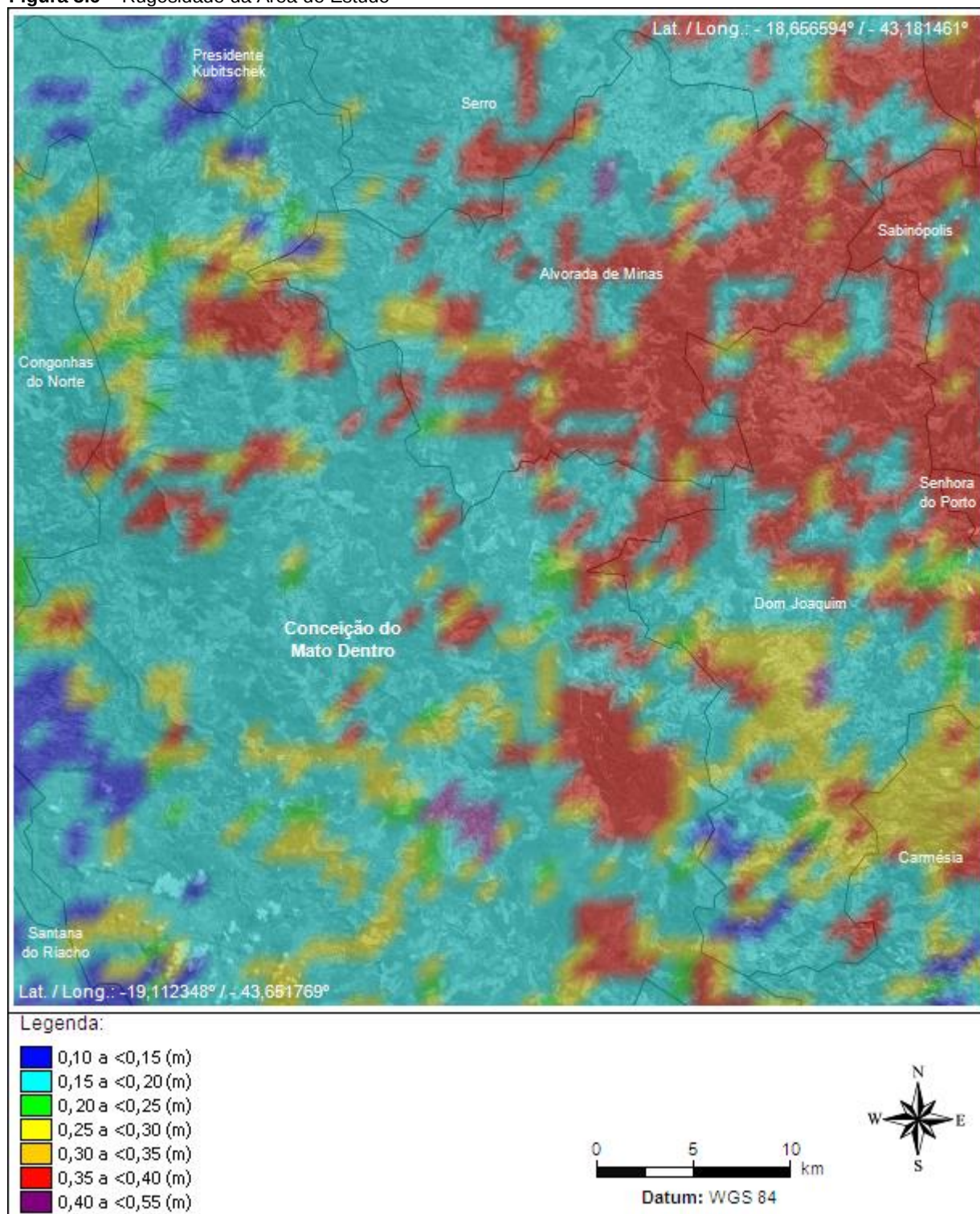


Figura 3.6 – Rugosidade da Área de Estudo



3.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA ÁREA DE ESTUDO RELACIONADAS ÀS EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO

As condições meteorológicas interagem diretamente com os processos de emissão de poluentes atmosféricos e sua dispersão no ambiente. No caso das fontes emissoras inventariadas na região de Conceição do Mato Dentro, as atividades operacionais identificadas e as emissões atmosféricas a estas associadas estão sujeitas às variações das condições meteorológicas.

Dentre as variáveis meteorológicas analisadas, destacam-se como principais interferentes nos processos de emissão de poluentes (notadamente de partículas), a precipitação pluviométrica e a velocidade do vento. A chuva está relacionada ao controle natural da emissão de material particulado, visto que a umidade superficial proporcionada pela precipitação reduz o potencial do arraste eólico de superfícies expostas que é proporcional à velocidade do vento incidente nessas superfícies.

A Tabela 3.1 apresenta o resumo das informações utilizadas na caracterização climática relacionada a emissões de partículas, incluindo a localização geográfica e os períodos analisados de cada uma das estações meteorológicas. A Figura 3.7 mostra a localização espacial das estações meteorológicas consideradas.

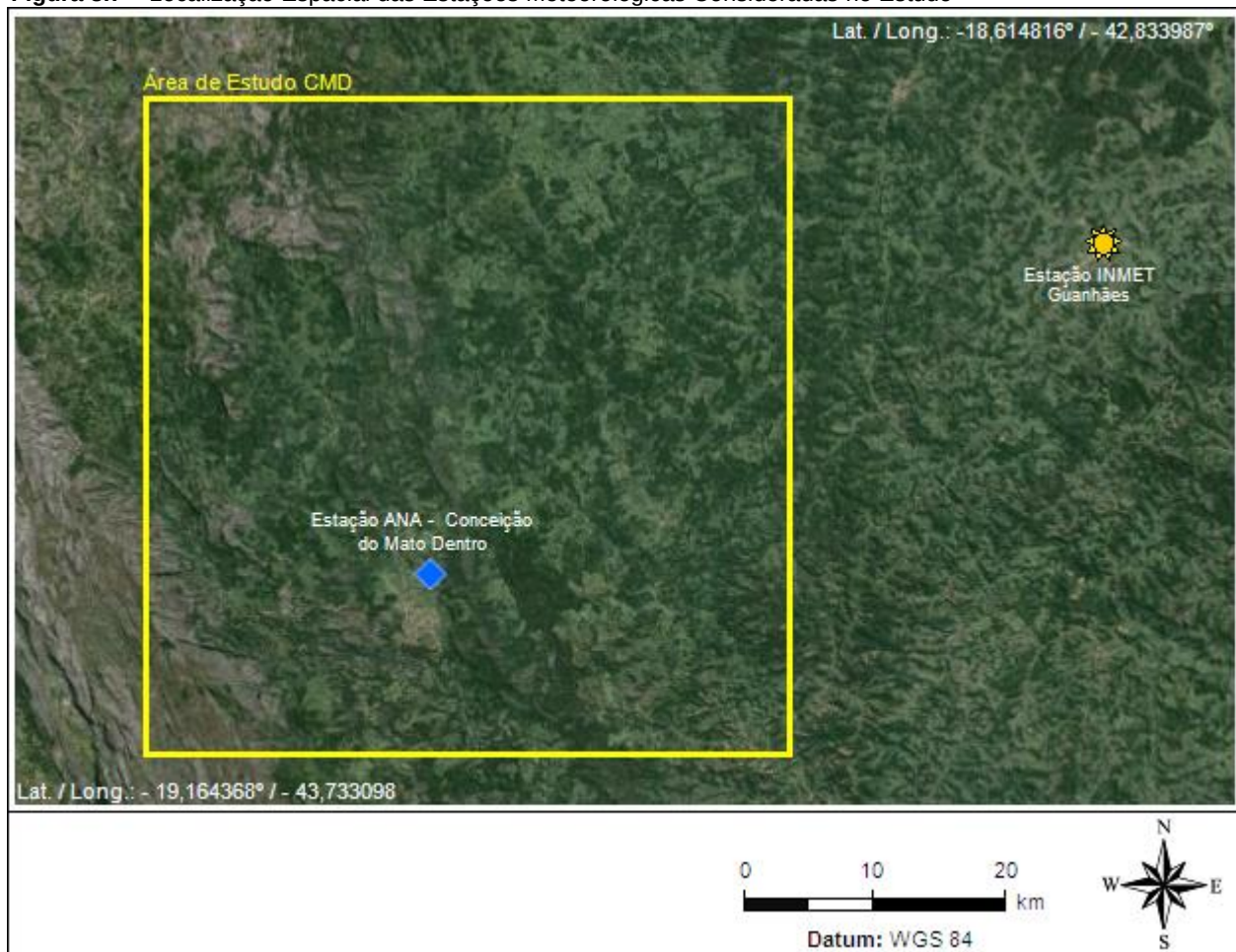
Tabela 3.1 – Fontes de Informações Meteorológicas

Estação Meteorológica	Fonte	Latitude [°]	Longitude [°]	Parâmetros	Período
Guanhães	INMET	-18,786842	-42,942921	UR, TA, PA, DV e VV	01/01/2012 a 31/12/2012
Conceição do Mato Dentro	ANA	-19,016667	-43,439833	PP	01/01/2010 a 31/12/2014

Legenda:

UR: Umidade Relativa do Ar; DV: Direção do Vento;
TA: Temperatura do Ar; VV: Velocidade do Vento;
PA: Pressão Atmosférica; PP: Precipitação Pluviométrica.

Figura 3.7 – Localização Espacial das Estações Meteorológicas Consideradas no Estudo

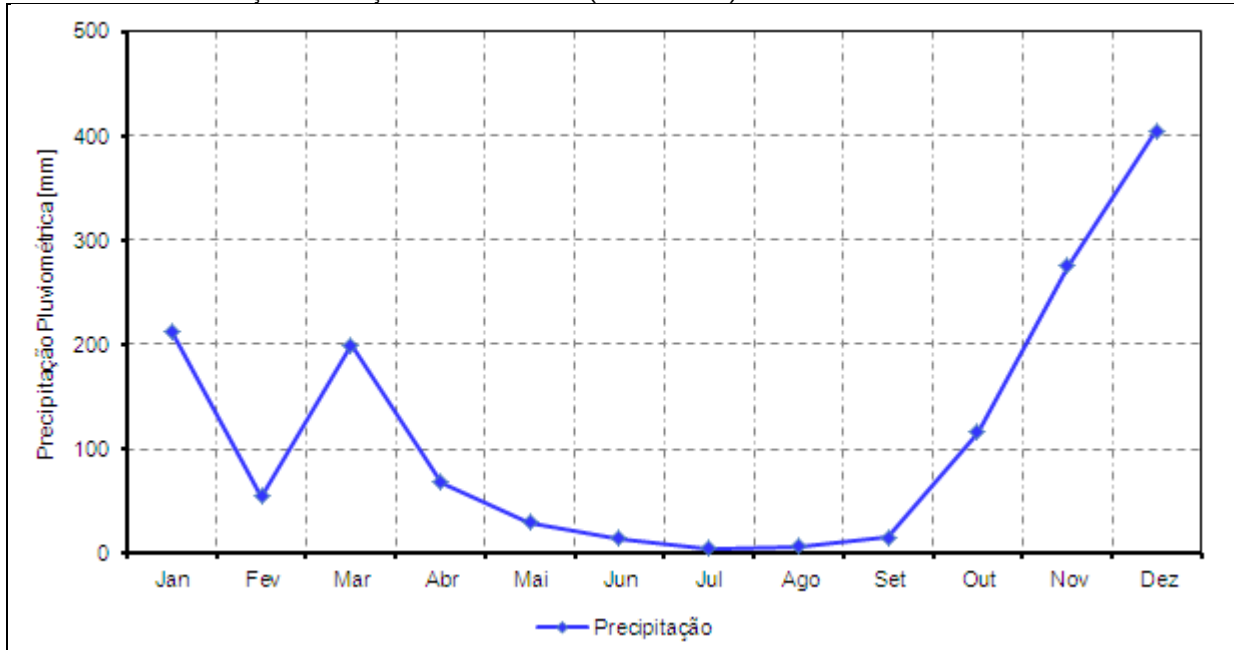


A área de estudo apresenta variações sazonais bem definidas do regime de chuvas. O Gráfico 3.1 apresenta a média mensal de precipitação pluviométrica na região no período de 2010 a 2014, enquanto o Gráfico 3.2 apresenta a média mensal para cada ano considerado.

O período mais chuvoso abrange os meses de novembro a janeiro (verão chuvoso), atingindo o pico de chuvas em dezembro. Pode-se observar que o mês de março também apresenta volume de chuvas considerável. O período mais seco compreende os meses de junho, julho e agosto e setembro (inverno seco).

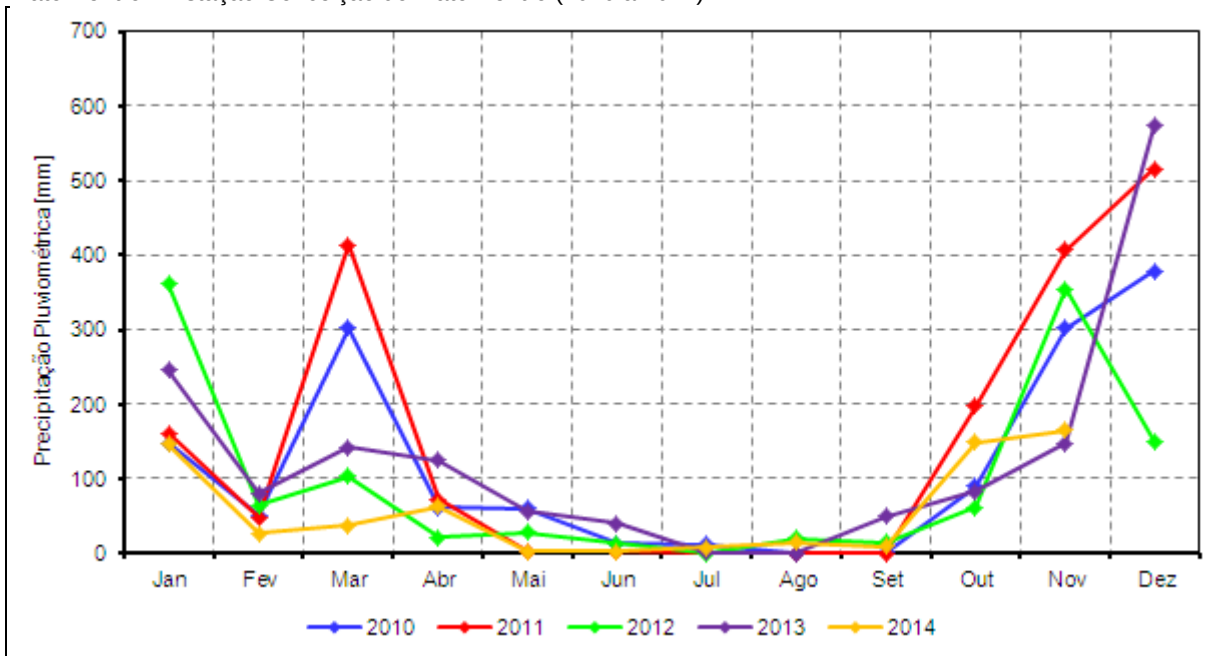
Sob o ponto de vista do potencial de geração de poluentes atmosféricos na região estudada, essa sazonalidade marcante das estações seca e chuvosa na área de estudo exige um planejamento e execução das ações de controle das emissões compatível com uma maior demanda de recursos durante o período seco.

Gráfico 3.1 – Comportamento Sazonal Médio Mensal da Precipitação Pluviométrica para a Região de Conceição do Mato Dentro – Estação Conceição do Mato Dentro (2010 a 2014)



Fonte: ANA (2015).

Gráfico 3.2 – Comportamento Sazonal Mensal da Precipitação Pluviométrica para a Região de Conceição do Mato Dentro – Estação Conceição do Mato Dentro (2010 a 2014)

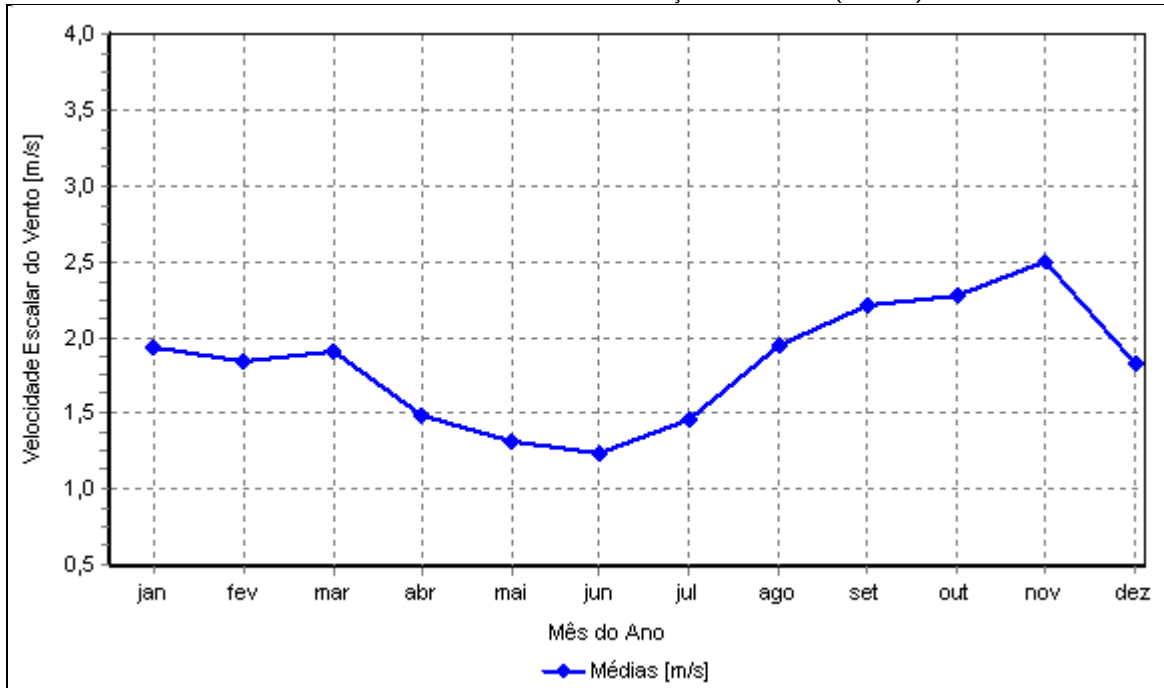


Fonte: ANA (2015).

A velocidade do vento se configura como uma variável meteorológica de grande importância no mecanismo de emissão de poeira por arraste eólico, visto que é o fluxo de ar que remove e transporta as partículas das superfícies expostas. O arraste eólico das partículas depende não somente da velocidade do vento, mas também das características dos materiais expostos à ação do vento, tais como a granulometria e a umidade, além das características orográficas da região.

O Gráfico 3.3 apresenta o comportamento da velocidade do vento, enquanto a Figura 3.8 mostra a rosa dos ventos da região. Ressalta-se que por não haver estações meteorológicas com dados disponíveis de velocidade do vento no município de Conceição do Mato Dentro, foram utilizados os dados da estação meteorológica de Guanhães.

Gráfico 3.3 – Médias Mensais da Velocidade do Vento – Estação Guanhães (INMET)



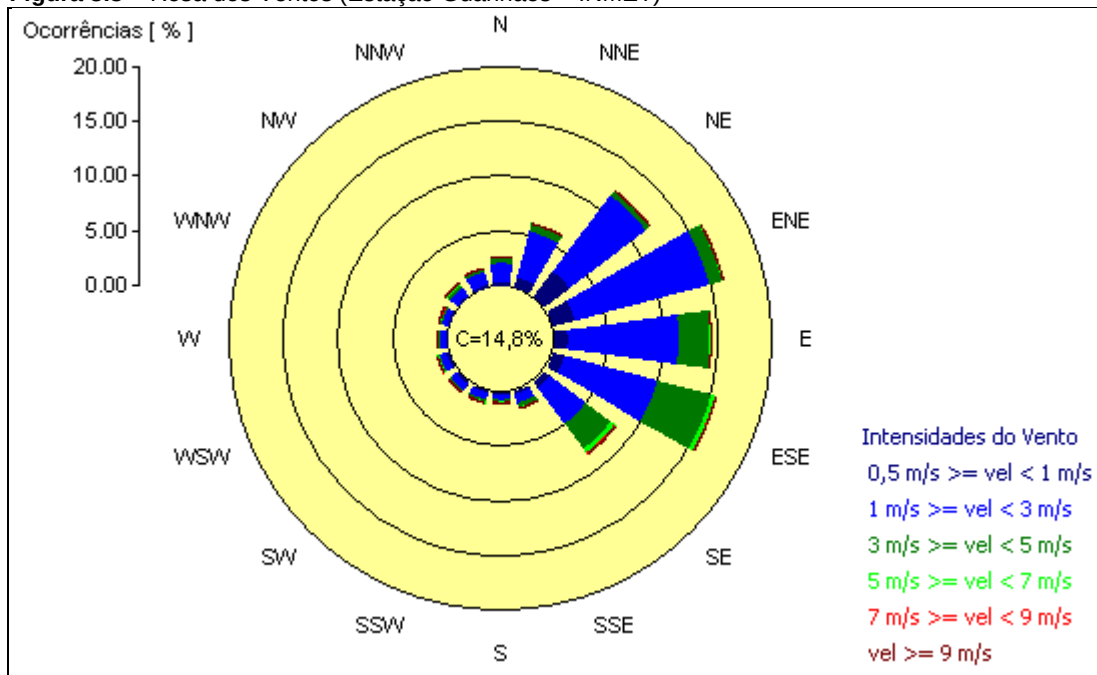
Fonte: INMET 2015.

Em primeira análise, observa-se que não há grandes variações sazonais da média mensal da velocidade do vento na estação analisada. A máxima média mensal observada na estação meteorológica de Guanhães é de 2,5 m/s, o que denota um baixo potencial de arraste eólico.

Todavia, deve-se ressaltar que os fenômenos de arraste eólico de partículas são episódios de curto período, principalmente relacionados a rajadas de vento. O fato da identificação de velocidades médias de baixa magnitude não isenta a região da ocorrência de rajadas de vento com velocidades elevadas.

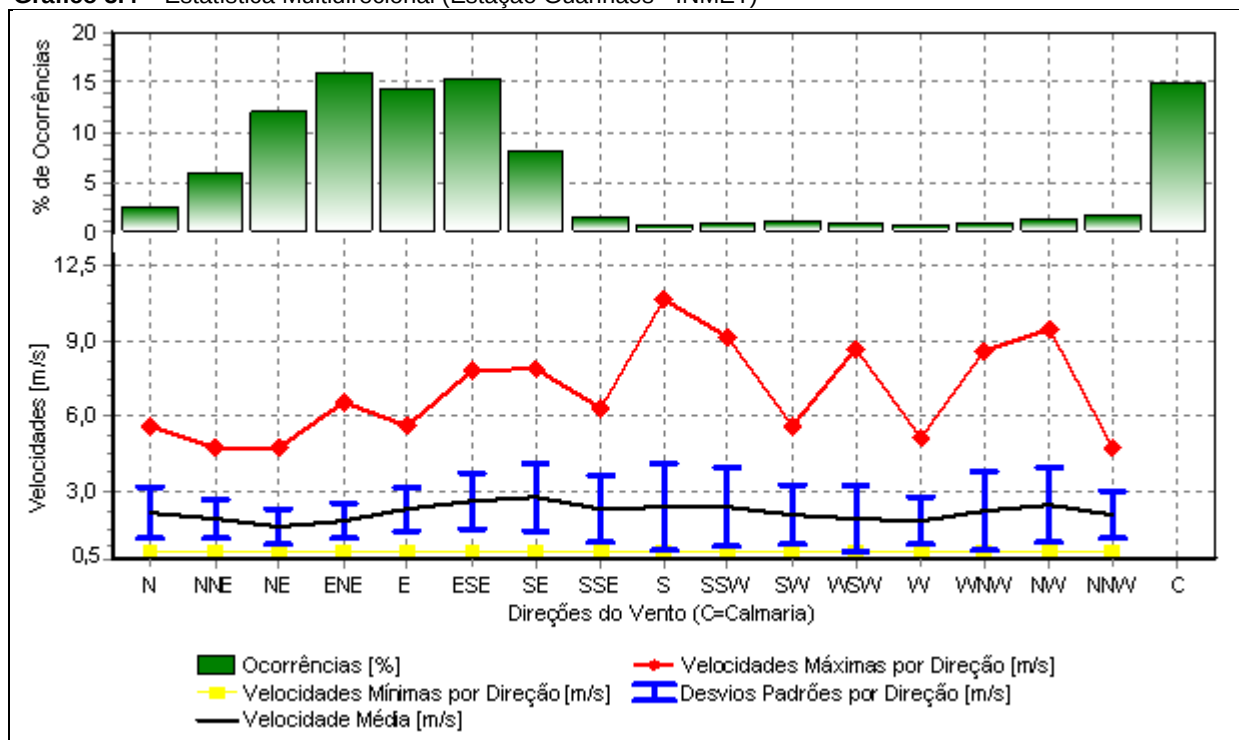
No Gráfico 3.4 (estatística multidirecional), observa-se que as máximas médias mensais da velocidade do vento atingem níveis da ordem de 11 m/s, velocidades suficientes para desencadear grandes emissões de material particulado.

Figura 3.8 – Rosa dos Ventos (Estação Guanhães – INMET)



Fonte: INMET 2015.

Gráfico 3.4 – Estatística Multidirecional (Estação Guanhães - INMET)



Fonte: INMET 2015.

A região de estudo é atualmente carente de dados meteorológicos que permitam a elaboração de uma classificação mais ampla e detalhada do regime de ventos. Os dados disponíveis foram obtidos na cidade de Guanhães (INMET, 2015).

A elevada complexidade do relevo da região interfere diretamente no regime de ventos. Portanto, por ora as análises apresentadas devem ser vistas como representativas do comportamento típico da velocidade dos ventos na região, mas deve ser entendido que as condições meteorológicas, principalmente o regime de ventos, não se apresentam de maneira homogênea em toda a área de estudo.

Para a adequada representação e pleno entendimento das condições meteorológicas da área de estudo, é necessária uma rede de monitoramento meteorológico mais densa (com maior número de estações adequadamente localizadas). Naturalmente, o projeto desta rede de monitoramento é um dos objetivos deste estudo, o que permitirá no futuro um entendimento mais realista das variáveis meteorológicas locais.

Considerando a necessidade do conhecimento mais abrangente das condições meteorológicas de superfície e de altitude na área de estudo, foi necessária a complementação dos dados meteorológicos da região, utilizando outras fontes de dados, além da estação do INMET. Nesta tarefa foi utilizada a modelagem meteorológica, por meio da aplicação do modelo meteorológico WRF, conforme os resultados que serão apresentados na seção 6.1.

A modelagem WRF cumpre importantes objetivos. O primeiro, descrito anteriormente, consiste no aprimoramento do entendimento sobre as condições meteorológicas da região, o que promove um melhor conhecimento da dinâmica da atmosfera regional.

Além disso, a modelagem meteorológica cumpre papel fundamental na geração de dados de entrada para a modelagem de qualidade do ar com o modelo CMAQ. Por se tratar de um modelo numérico com malha tridimensional e transiente, o CMAQ necessita da geração de dados meteorológicos de superfície e altitude em malha compatível, tridimensional e transiente, tarefa essa suprida pela modelagem WRF.

4. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Com o objetivo de estabelecer estratégias para o controle, preservação e recuperação da qualidade do ar, válidas para todo o território nacional, conforme previsto na Lei 6.938/81, foi instituído o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) pela Resolução CONAMA 05/89, dando definições e diretrizes para prevenção e gerenciamento.

Baseada nesta norma foi editada em 28/06/90 a Resolução CONAMA 03/1990, que estabelece padrões de qualidade do ar, métodos de amostragem e análise dos parâmetros e níveis de qualidade, atinentes a um plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar, visando providências dos governos estaduais e municipais, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde pública.

Para a implementação da estratégia de gestão do PRONAR, foram definidas classes de usos pretendidos para o recurso ar, conforme segue:

- ❑ Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nessas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica;
- ❑ Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade;
- ❑ Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

Segundo o Artigo 1º da Resolução CONAMA 03/1990, são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. O Artigo 2º da mesma resolução conceitua padrões de qualidade do ar conforme segue:

- ❑ Padrões primários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população;
- ❑ Padrões secundários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A Resolução CONAMA 03/1990 estabeleceu também que: “Enquanto cada Estado não definir as áreas de Classe I, II e III mencionadas no item 2, subitem 2.3, da Resolução CONAMA 05/1989, serão adotados os padrões primários de qualidade do ar estabelecidos nesta resolução”.

No Estado de Minas Gerais, previamente à publicação da Resolução CONAMA 03/1990, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) já havia publicado, em 1981, a Deliberação Normativa COPAM 01/1981, estabelecendo padrões de qualidade do ar para os parâmetros partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO) e oxidantes fotoquímicos, interpretados como O₃. Os limites de concentrações e os tempos de média recomendados pela Deliberação Normativa COPAM 01/1981 são idênticos aos padrões primários de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA 03/1990.

Considerando este breve histórico sobre a legislação aplicável ao recurso ar, identifica-se que para a área de estudo em questão, aplicam-se os padrões primários de qualidade do ar definidos pela Resolução CONAMA 03/1990. Todavia, ressalta-se que em áreas específicas sujeitas a proteção especial e áreas legalmente protegidas, há potencialidade de aplicação dos padrões secundários de qualidade do ar, ou ainda padrões mais restritivos, a critério das definições de uso e ocupação do terreno e classificação das áreas, pelos órgãos competentes.

A Tabela 4.1 apresenta os padrões de qualidade do ar primários e secundários, definidos pela Resolução CONAMA 03/1990.

Tabela 4.1 – Padrões de Qualidade do Ar – Resolução CONAMA 03/1990

Poluente	Padrão Primário		Padrão Secundário	
	Concentração [µg/m³]	Tempo de Média	Concentração [µg/m³]	Tempo de Média
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	80 ^a	1 ano	60 ^a	1 ano
	240	24 horas	150	24 horas
Material Particulado menor que 10 µm (PM ₁₀)	50	1 ano	50	1 ano
	150	24 horas	150	24 horas
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	80	1 ano	40	1 ano
	365	24 horas	100	24 horas
Monóxido de Carbono (CO)	10.000 (9 ppm)	8 horas	10.000 (9 ppm)	8 horas
	40.000 (35 ppm)	1 hora	40.000 (35 ppm)	1 hora
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	100	1 ano	100	1 ano
	320	1 hora	190	1 hora
Fumaça	150	24 horas	100	24 horas
	60	1 ano	40	1 ano
Ozônio (O ₃)	160	1 hora	160	1 hora

Fonte: CONAMA (1990).

Nota:

a. Média Geométrica.

Para material particulado menor que 2,5 µm (PM_{2.5}), não existe legislação específica na esfera federal. Contudo, estados como São Paulo e Espírito Santo já estabeleceram padrões específicos para esse poluente. A estratégia adotada é a definição de metas intermediárias para que, em longo prazo, seja alcançado o padrão preconizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

As metas intermediárias devem ser obedecidas em três etapas:

- ❑ Meta Intermediária Etapa 1 (MI1): Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir da publicação do decreto;
- ❑ Meta Intermediária Etapa 2 (MI2): Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1;

- ❑ Meta Intermediária Etapa 3 (MI3): Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI2, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 2.

Atualmente, o estado de São Paulo está utilizando a meta intermediária 1. A Tabela 4.2 apresenta o padrão de qualidade do ar para PM_{2.5} estabelecido nos Estados de São Paulo e Espírito Santo.

Tabela 4.2 – Padrões de Qualidade do Ar para PM_{2.5} nos Estados de São Paulo e Espírito Santo

Poluente	Referência Temporal	Concentração [µg/m³]			
		Metas Intermediárias			Padrão Final (PF)
		Etapa 1 (MI1)	Etapa 2 (MI2)	Etapa 3 (MI3)	
PM _{2.5} - Espírito Santo	24 horas	- ^a	50	37	25
	1 ano	- ^a	20	15	10
PM _{2.5} - São Paulo	24 horas	60	50	37	25
	1 ano	20	17	15	10

Nota:

- a. Sem meta inicial

5. INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A qualidade do ar de uma região é o resultado de complexas interações, envolvendo a emissão de poluentes atmosféricos por fontes fixas e móveis, locais e remotas, naturais e antropogênicas que, juntamente com as condições meteorológicas e das características do terreno dessa região, determinam a concentração dos poluentes presentes na atmosfera.

O inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos representa o aporte de poluentes a que a área de estudo está sujeita, sendo um dos mais importantes instrumentos de planejamento e de gestão atmosférica, ao identificar e definir qualitativa e quantitativamente as atividades com potencial de alterar a qualidade do ar de uma região. Essa metodologia fornece informações sobre as características das fontes consideradas, definindo localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões. Estas informações podem ser utilizadas nas ações de reconhecimento e gestão, possibilitando:

- ❑ Identificação das fontes potencialmente mais significativas em termos de carga de poluentes emitida;
- ❑ Avaliação dos efeitos das emissões, por meio da aplicação de modelos de dispersão atmosférica que indicam a influência ou impacto dessas emissões para a qualidade do ar da área de influência direta dos empreendimentos e demais fontes emissoras.

Neste capítulo é apresentado o inventário de emissões atmosféricas de Conceição do Mato Dentro, incluindo os municípios de Alvorada de Minas e Dom Joaquim, com o detalhamento da identificação, caracterização e quantificação das taxas de emissão de poluentes associadas às diversas fontes emissoras existentes na área de estudo.

O inventário de emissões atmosféricas de Conceição do Mato Dentro foi realizado com o intuito de descrever as condições médias de emissões das fontes emissoras da região.

Foram inventariadas as fontes emissoras associadas à mina de ferro do Projeto Minas-Rio, operado pela Anglo American, além das fontes emissoras às atividades cotidianas dos municípios (emissões veiculares, postos de abastecimento de combustíveis, emissões residenciais e comerciais). Neste estudo também foram inventariadas as emissões atmosféricas naturais, denominadas emissões biogênicas.

As emissões decorrentes de queimadas nos municípios não foram computadas neste estudo para alimentação do modelo matemático de dispersão atmosférica, por representarem episódios de curta duração e pouco representativos para a análise de influência dos impactos sobre a qualidade do ar da região. Com a finalidade do conhecimento do comportamento deste tipo de emissões na área de estudo, a seção 5.6 apresenta uma análise qualitativa com o levantamento do número de focos de queimadas ocorridos na região (ano 2013 – municípios Alvorada de Minas, Conceição do Mato Dentro e Dom Joaquim).

No inventário foram quantificadas as taxas de emissão de material particulado total (PM), fração menor que 10 μm (PM₁₀), além dos gases dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV).

Para inventariar as fontes emissoras de poluentes atmosféricos foram utilizadas metodologias específicas, tendo como referência principal o protocolo para inventário de emissões atmosféricas, publicado pelo *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) da U.S. *Environmental Protection Agency* (USEPA). Para isso, foram considerados modelos de emissão atmosférica, fatores de emissão, balanços de massa, dentre alternativas.

O inventário de emissões atmosféricas de Conceição do Mato Dentro foi desenvolvido considerando o ano base de 2013 e representa as taxas médias de emissão de poluentes tipicamente lançados para a atmosfera no decurso das atividades desenvolvidas na região.

Para as fontes emissoras do Projeto Minas-Rio (Anglo American), foi considerado o cenário de operação do empreendimento em sua capacidade de operação (26,5 Mtpa). A Tabela 5.1 apresenta o resumo do inventário com a totalização das taxas médias de emissão de poluentes atmosféricos.

Tabela 5.1 – Resumo do Inventário de Emissões Atmosféricas de Conceição do Mato Dentro

Fontes Emissoras	Taxa de Emissão de Poluentes Atmosféricos [kg/h]					
	PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Projeto Minas-Rio (Anglo American)	90,90	53,61	0,36	34,10	21,69	3,26
Vias de Tráfego	97,99	69,18	0,66	23,71	120,51	28,89
Emissões Residenciais e Comerciais	0,01	<0,01	0,03	0,34	0,19	12,77
Postos de Combustíveis	--	--	--	--	--	0,94
Total	188,90	122,79	1,05	58,15	142,39	45,86

As seções seguintes apresentam o detalhamento do inventário para cada grupo de fontes considerado

5.1. PROJETO MINAS-RIO (ANGLO AMERICAN)

Nesta seção as emissões atmosféricas relacionadas às atividades de produção e beneficiamento de minério de ferro, relacionada ao Projeto Minas-Rio, são detalhadamente identificadas e caracterizadas, sendo suas taxas de emissões quantificadas com base em informações disponibilizadas pela Anglo American.

5.1.1. Caracterização do Empreendimento

O Projeto Minas-Rio, de propriedade da empresa Anglo American – Minério de Ferro Brasil, conta com uma mina de exploração de minério de ferro e uma planta de beneficiamento por flotação com capacidade de produção de 26,5 milhões de toneladas por ano.

O minério de ferro, extraído e beneficiado em Conceição do Mato Dentro-MG, é transportado por meio do maior mineroduto do mundo, com cerca de 530 km de extensão, até o Porto do Açu, localizado em São João da Barra-RJ. O mineroduto atravessa 33 municípios entre Minas Gerais e o Rio de Janeiro. O empreendimento realizou o primeiro embarque de minério de ferro em outubro de 2014. (Anglo American, 2015).

A Figura 5.1 apresenta de forma simplificada a rota do minério, desde a sua extração na mina, transporte pelo mineroduto, até o embarque no Porto do Açu. Nesta rota, o minério passa por duas estações de bombas, uma em Conceição do Mato Dentro-MG (EB1) e outra em Santo Antônio do Grama-MG (EB2), além de uma estação de válvulas em Tombos-MG (EV).

Figura 5.1 – Rota do Minério de Ferro da Mina ao Porto – Projeto Minas-Rio



Fonte: Adaptado de Anglo American (2015)

Em Conceição do Mato Dentro-MG, o minério bruto, denominado ROM (*Run of Mine*), é extraído na Mina do Sapo e processado em planta de beneficiamento para a geração do concentrado de minério de ferro (*pellet feed*). Para tal, o minério, o qual é extraído em blocos, passa por processos secos, que incluem a britagem e o peneiramento, além de processos úmidos, que incluem a moagem, a flotação e o espessamento.

O empreendimento dispõe de uma infraestrutura completa de mineração, incluindo operações de lavra a céu aberto, estradas de acesso, pilha de estéril e área industrial com planta de beneficiamento mineral e estruturas de apoio operacional. A Figura 5.2 apresenta uma vista panorâmica da área de mina e beneficiamento do Projeto Minas-Rio.

Figura 5.2 – Vista Panorâmica da Área de Mina e Beneficiamento do Projeto Minas-Rio



Fonte: Anglo American (2015)

As fontes emissoras de poluentes atmosféricos do Projeto Minas-Rio nas etapas de extração e beneficiamento de minério de ferro, realizadas em Conceição do Mato Dentro-MG, podem ser classificadas como fontes difusas, com predominância de emissão de material particulado, tendo em vista as características do processo produtivo.

Tais fontes são caracterizadas por emissões fugitivas do processamento do minério, transporte e armazenamento de materiais, incluindo as atividades de lavra, britagem, peneiramento e circuitos de transportadores. Nesse grupo, também se enquadram as emissões fugitivas de áreas suscetíveis à erosão eólica e das vias de tráfego.

A seguir são apresentados os tipos de fontes emissoras de poluentes atmosféricos identificadas no Projeto Minas-Rio (Anglo American – Minério de Ferro Brasil).

5.1.2. Tipos de Fontes Emissoras Inventariadas

Áreas Expostas

São fontes que, sujeitas à ação do vento, sofrem erosão superficial emitindo poeira, mesmo que não apresentem movimentação de material ou tráfego de máquinas e veículos. As áreas expostas ocorrem com maior frequência nas atividades de mineração e extração de rochas.

O principal mecanismo de emissão em uma área exposta é o arraste eólico das partículas finas e livres existentes nas superfícies expostas. A emissão de material particulado em uma área erosiva exposta tem como variáveis importantes para a sua caracterização:

- ☐ Dimensão da área suscetível ao arraste eólico;
- ☐ Teor de finos do material superficial;
- ☐ Teor de umidade do material da superfície;
- ☐ Precipitação pluviométrica;
- ☐ Velocidade do vento.

Pilhas de Materiais

A formação de pilhas de materiais, que normalmente ocorre a céu aberto, é inerente às operações de manuseio de grandes quantidades de materiais fragmentados.

As emissões de poeira em pilhas ocorrem nas diversas fases do ciclo de estocagem de material: carregamento da pilha, erosão eólica no material estocado e retirada do material da pilha. A movimentação de caminhões e equipamentos de carga e descarga sobre a pilha ou ao seu redor também provoca emissão de poeira.

A quantidade de poeira emitida por uma pilha de materiais fragmentados varia em função da quantidade de material movimentado. São informações importantes para a caracterização das emissões em uma pilha:

- ☐ Área superficial da pilha;
- ☐ Ciclo de formação e recuperação da pilha;
- ☐ Teor de umidade do material superficial;
- ☐ Teor de finos do material superficial;
- ☐ Velocidade do vento incidente na pilha;
- ☐ Precipitação pluviométrica;
- ☐ Geometria da pilha e sua suscetibilidade à ação dos ventos.

Em geral, quando uma pilha está em formação ou quando está sendo recuperada, o seu potencial de emissão de poeira atinge o nível máximo, visto que materiais finos porventura existentes na superfície da pilha são facilmente arrastados e lançados na atmosfera pelas correntes de vento incidentes. À medida que os materiais mais finos vão sendo arrastados, permanecem sobre a superfície da pilha os materiais de maior granulometria, cujo arraste eólico é mais difícil. Se não ocorrerem novas perturbações na pilha, com o passar do tempo, a emissão de material particulado é significativamente reduzida, exceto se todo o material da pilha apresentar granulometria muito fina.

Um fator importante que interfere no potencial de geração de emissão em pilhas de materiais é o teor de umidade do material superficial. A umidade causa a agregação dos materiais finos na superfície das partículas mais grossas reduzindo o potencial de emissão.

Assim como para as áreas expostas, a emissão de poeira nas pilhas de materiais varia substancialmente em função de condições meteorológicas, tais como velocidade do vento incidente na pilha, chuvas, etc. Dessa forma, as taxas de emissão de partículas em pilhas de materiais podem variar tão dinamicamente quanto às condições meteorológicas do local.

Frentes de Lavra

As emissões de material provenientes das frentes de lavra geralmente ocorrem devido à movimentação do material lavrado. Em uma frente de lavra os minérios e estéréis são constantemente removidos das bancadas por escavadeiras que alimentam caminhões. Essa intensa movimentação de material fragmentado proporciona a desagregação da fração fina porventura existente no minério e estéréis, sendo lançada para a atmosfera.

Outra fonte descontínua de emissão de poeira nas frentes de lavra são as explosões para o desmonte a fogo das bancadas (detonação), geralmente necessárias onde o solo ou mineral é mais compacto ou em rochas sãs. Esta operação antecede a retirada de minérios com as escavadeiras. Os explosivos são instalados a certa profundidade ao longo do trecho a ser preparado para lavra. As ondas de choque provocadas pela explosão, juntamente com a expansão dos gases ocasionam o lançamento de partículas ao ar. As principais variáveis para quantificação das emissões de desmonte a fogo são:

- ☐ Consumo de explosivo;
- ☐ Tipo de explosivo;
- ☐ Número de detonações por dia;
- ☐ Área superficial da região detonada;
- ☐ Profundidade dos furos.

As principais variáveis para quantificação das emissões de escavação são:

- ☐ Tempo de escavação por dia;
- ☐ Quantidade de material lavrado;
- ☐ Umidade do material lavrado;
- ☐ Teor de finos do material lavrado.

Vias de Tráfego

Quando um veículo trafega em uma via, além dos gases de combustão emitidos pelo escapamento, o atrito e a pressão exercida pelas rodas na superfície da via causam a pulverização do material superficialmente disposto. As partículas aderem e soltam-se das rodas dos veículos e a turbulência no ar provocada pelo deslocamento do veículo arrasta essas partículas da superfície da via. Assim em uma via, existe uma parcela de poeira emitida pelo escapamento e outra emitida por suspensão de partículas existentes em sua superfície.

A quantidade de poeira emitida em uma via de tráfego varia linearmente com o volume e velocidade do tráfego incidente sobre a mesma. Além da emissão por tráfego de veículos, a via de tráfego também está sujeita ao arraste eólico, assim como ocorre em uma área exposta. São variáveis importantes para a quantificação das emissões de poeira e gases em vias de tráfego:

- ☐ Fluxo dos veículos;
- ☐ Massa média dos veículos que trafegam na via;
- ☐ Umidade superficial da via;
- ☐ Teor de finos da superfície da via;
- ☐ Tipo de combustível usado na frota de veículos;
- ☐ Precipitação pluviométrica;
- ☐ Quantidade de combustível consumido pelos veículos.

Britagem e Peneiramento de Materiais

A movimentação de materiais nos britadores e peneiras faz com que as partículas finas de poeira contidas nos materiais se desagreguem com consequente geração de poeira. As características construtivas desses equipamentos, geralmente enclausurados, reduzem a emissão de poeira para o ambiente. São variáveis importantes para a caracterização das emissões de material particulado no processo de britagem e peneiramento:

- ☐ Quantidade movimentada de material;
- ☐ Umidade do material a ser beneficiado;
- ☐ Sistema de carregamento dos britadores e peneiras;
- ☐ Altura de queda do material na transferência para os britadores e peneiras.

Transferência de Materiais

Nas atividades de extração, transporte e beneficiamento do minério, existem operações de transferências de materiais que ocorrem por meio de pás carregadeiras, caminhões basculantes e transportadores de correia, provocando a emissão de material particulado. As principais variáveis para a caracterização deste tipo de fonte emissora são:

- ☐ Quantidade movimentada de material;
- ☐ Umidade do material transportado;
- ☐ Altura de queda do material;
- ☐ Teor de finos do material transportado;
- ☐ Velocidade do vento incidente.

5.1.3. Inventário de Emissões Atmosféricas do Projeto Minas-Rio

O inventário de emissões atmosféricas do Projeto Minas-Rio (Anglo American) foi elaborado com o objetivo de identificar, caracterizar e quantificar as fontes emissoras do empreendimento, de modo a possibilitar a alimentação do modelo de dispersão atmosférica CMAQ, para a simulação dos cenários de qualidade do ar representativos da influência do Projeto Minas-Rio na qualidade do ar da área de estudo.

O inventário de emissões realizado contemplou a caracterização e totalização das emissões de material particulado nas frações total (PM) e menor que 10 µm (PM₁₀). Além disso, foram caracterizadas as emissões dos gases dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV).

As estimativas de emissões dos poluentes foram realizadas com base em metodologias específicas para esta finalidade, tendo como referência principal o protocolo para inventário de emissões atmosféricas publicado pelo *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) da U.S. *Environmental Protection Agency* (USEPA), considerando para tal, modelos e fatores de emissão, balanços de massa, dentre outras alternativas.

O Quadro 5.1 resume as premissas adotadas para a caracterização das emissões atmosféricas provenientes do Projeto Minas-Rio.

Quadro 5.1 – Metodologias Utilizadas para os Cálculos do Inventário de Emissões Atmosféricas

Grupos	Metodologia
Áreas Expostas e Pilhas	- Calculado com base na área física superficial suscetível à erosão eólica apresentada por cada área exposta. Fatores de emissão disponíveis no EMEP/EEA <i>Air Pollutant Emission Inventory Guidebook: Chapter 2.A.5.c Storage, handling and transport of mineral products</i> (EEA, 2013).
Detonação	- Calculado por fatores de emissão do AP-42: <i>Chapter 11.9 - Western Surface Coal Mining</i> (USEPA, 1998). <i>Chapter 13.3 - Explosives Detonation</i> (USEPA, 1980).
Escavação	- Calculado por fatores de emissão do AP-42: <i>Chapter 11.9 - Western Surface Coal Mining</i> (USEPA, 1998).
Britagem e Peneiramento	- Calculado por fatores de emissão do AP-42: <i>Chapter 11.19.2 - Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing</i> (USEPA, 2004). <i>Chapter 11.24 - Metallic Minerals Processing</i> (USEPA, 1982).
Transferências	- Calculado por fatores de emissão do AP-42: <i>Chapter 11.19.2 - Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing</i> (USEPA, 2004).
Máquinas e Equipamentos	- Aplicação de fatores de emissão da <i>South Coast Air Quality Management District</i> (AQMD, 2014), baseando-se na metodologia descrita em <i>Off-road Mobile Source Emission Factors</i> .
Vias de Tráfego	- Cálculo das emissões devido à ressuspensão de material baseado em procedimentos descritos em: <i>Chapter 13.2.1 - Paved Roads</i> (USEPA, 2011) <i>Chapter 13.2.2 - Unpaved Roads</i> (USEPA, 2006). - Emissões por escapamentos e desgaste de pneus foram estimadas com base nos fatores de emissão publicados no <i>Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2009</i> (CETESB, 2010). - Aplicação de fatores de emissão da <i>South Coast Air Quality Management District</i> (AQMD, 2014), baseando-se na metodologia descrita em <i>Off-road Mobile Source Emission Factors</i> .

O inventário de emissões atmosféricas compilado representa as taxas médias de emissão de poluentes atmosféricos previstos para 18 meses após o início de operação do empreendimento, quando a mina irá operar com capacidade máxima de produção de aproximadamente 26,5 Mtpa.

O resumo dos totais de poluentes inventariados do Projeto Minas-Rio é apresentado na Tabela 5.2. A Tabela 5.3. apresenta o inventário detalhado das fontes emissoras de poluentes atmosféricos inventariadas no Projeto Minas-Rio. A Figura 5.3 mostra a localização espacial das fontes emissoras inventariadas.

Tabela 5.2 – Taxa Média de Poluentes Atmosféricos – Projeto Minas-Rio (Anglo American)

Fonte Emissora	Taxa de Emissão de Poluentes Atmosféricos [kg/h]					
	PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Projeto Minas-Rio (Anglo American)	90,90	53,61	0,36	34,10	21,69	3,26

Figura 5.3 – Localização Geográfica das Fontes Emissoras Inventariadas – Projeto Minas-Rio

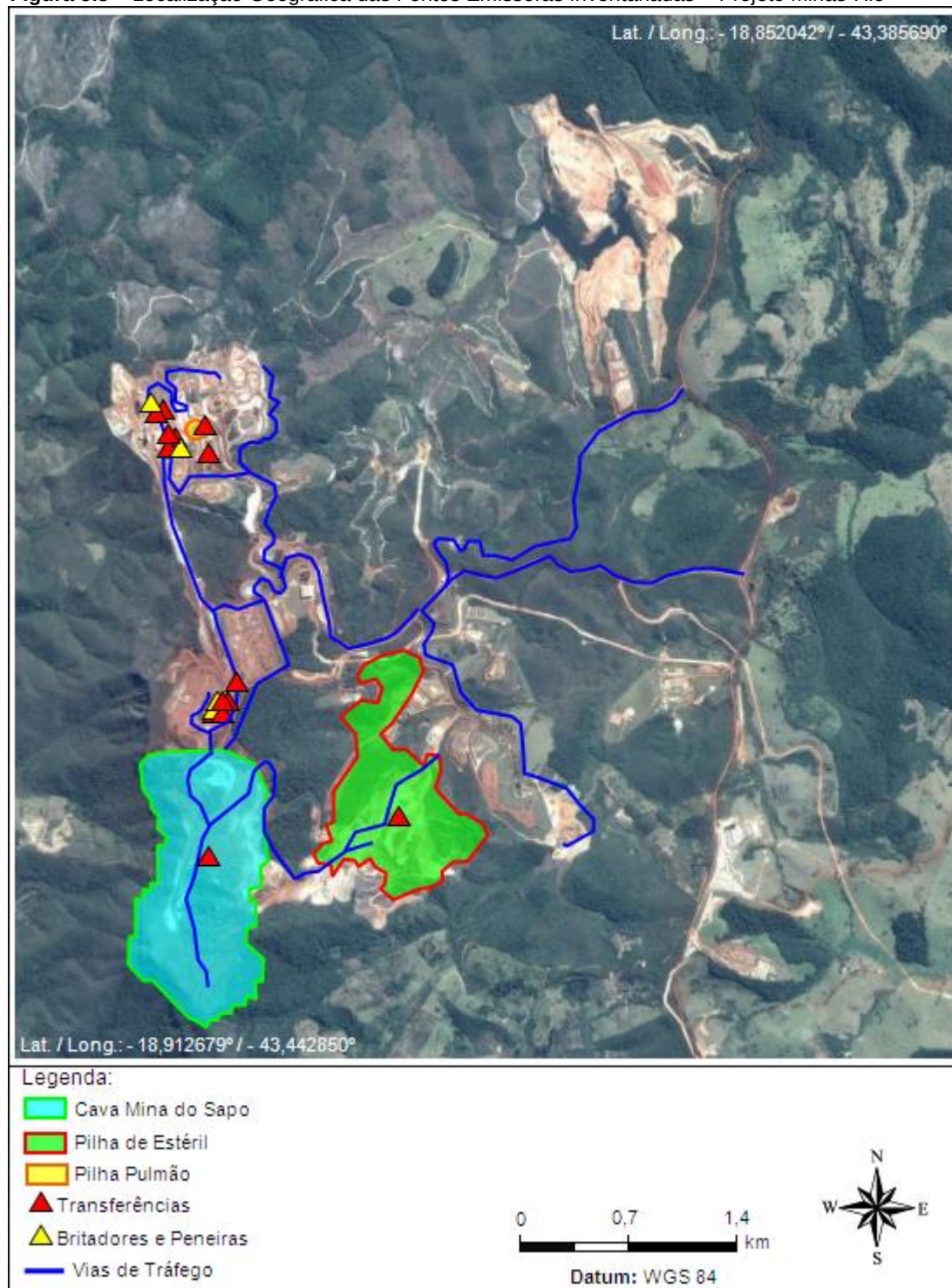


Tabela 5.3 – Estimativas das Taxas Médias de Emissão de Poluentes Atmosféricos – Projeto Minas-Rio (Anglo American)

Fonte Emissora	Latitude [°]	Longitude [°]	Taxa de Emissão de Poluentes Atmosféricos [kg/h]					
			PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
AE - Cava Mina do Sapo	-18,902806	-43,432254	8,60	4,30	--	--	--	--
AE - Pilha de Estéril	-18,897792	-43,420287	5,71	2,85	--	--	--	--
AE - Pilha Pulmão	-18,875756	-43,433672	0,11	0,06	--	--	--	--
Britador Primário 1	-18,892555	-43,431315	6,36	4,36	--	--	--	--
Britador Primário 2	-18,891893	-43,431031	6,36	4,36	--	--	--	--
Britador Secundário	-18,876699	-43,434828	5,73	3,92	--	--	--	--
Detonação - Cava Mina do Sapo	-18,902806	-43,432254	0,29	0,15	0,33	2,60	11,05	--
Equipamentos - Escapamento	-18,902806	-43,432254	0,58	0,38	0,02	15,73	5,80	1,67
Escavação - Cava Mina do Sapo	-18,902806	-43,432254	4,66	0,97	--	--	--	--
Peneiramento	-18,874573	-43,435301	2,33	1,60	--	--	--	--
TR - Britador Primário 1 - Correia	-18,892616	-43,431173	0,07	0,02	--	--	--	--
TR - Britador Primário 2 - Correia	-18,891998	-43,430838	0,07	0,02	--	--	--	--
TR - Caminhão - Britador Primário 1	-18,892475	-43,431522	2,39	0,88	--	--	--	--
TR - Caminhão - Britador Primário 2	-18,891828	-43,431216	2,39	0,88	--	--	--	--
TR - Casa de Transferência 03 - TCLD	-18,890968	-43,430089	0,15	0,05	--	--	--	--
TR - Cava - Caminhão	-18,901201	-43,431780	5,87	2,15	--	--	--	--
TR - Correia - Casa de Transferência 01	-18,892792	-43,430955	0,07	0,02	--	--	--	--
TR - Correia - Casa de Transferência 02	-18,892116	-43,430605	0,15	0,05	--	--	--	--
TR - Correia 121-5 - Pilha Pulmão	-18,875560	-43,433687	0,48	0,18	--	--	--	--
TR - Correia 121-6 - Retomada da Pilha Pulmão	-18,876437	-43,433604	0,15	0,05	--	--	--	--
TR - Correias 121-5 e 121-6	-18,876141	-43,434994	0,15	0,05	--	--	--	--
TR - Entrada do Britador Secundário	-18,876557	-43,434859	0,04	0,01	--	--	--	--
TR - Entrada do Peneiramento	-18,874863	-43,435250	0,15	0,05	--	--	--	--
TR - Pilha de Estéril	-18,898884	-43,420158	1,10	0,40	--	--	--	--
TR - Saída do Britador Secundário	-18,876756	-43,434996	0,04	0,01	--	--	--	--
TR - Saída do Peneiramento	-18,874908	-43,435131	0,15	0,05	--	--	--	--
TR - TCLD - Casa de Transferência 04	-18,877222	-43,434885	0,15	0,05	--	--	--	--

Continuação da Tabela 5.3 – Estimativas das Taxas Médias de Emissão de Poluentes Atmosféricos – Projeto Minas-Rio (Anglo American)

Fonte Emissora	Latitude [°]	Longitude [°]	Taxa de Emissão de Poluentes Atmosféricos[kg/h]					
			PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Via 1 - Entrada para Anglo American	-18,884468	-43,398477	0,84	0,59	<0,01	0,14	0,19	0,03
Via 10 - Acesso ao britador primário	-18,893869	-43,431680	0,04	0,03	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Via 11 - Acesso ao britador secundário	-18,887046	-43,431427	0,05	0,03	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Via 12 - Via na área da usina	-18,878570	-43,429329	0,08	0,06	<0,01	0,01	0,02	<0,01
Via 13 - Via na área do britador secundário	-18,878605	-43,429370	0,21	0,14	<0,01	0,03	0,05	0,01
Via 14 - Via na Cava Mina do Sapo	-18,908734	-43,432027	14,94	10,50	0,01	6,89	1,92	0,68
Via 15 - Da Cava para Britador Primário	-18,899627	-43,431961	10,86	7,64	<0,01	5,01	1,40	0,49
Via 16 - Acesso da cava para pilha de estéril	-18,899646	-43,431958	4,99	3,51	<0,01	2,30	0,64	0,23
Via 17 - Via na pilha de estéril	-18,895451	-43,417550	2,44	1,72	<0,01	1,13	0,31	0,11
Via 2 - Acesso alternativo para Anglo American	-18,873507	-43,402237	0,12	0,09	<0,01	0,02	0,03	<0,01
Via 3 - Encontro das entradas da Anglo American	-18,885544	-43,417145	0,09	0,06	<0,01	0,02	0,02	<0,01
Via 4 - Acesso ao cant. obras/paiol de explos. (1)	-18,886983	-43,418477	0,05	0,04	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Via 4 - Acesso ao cant. obras/paiol de explos. (2)	-18,890694	-43,416553	0,76	0,53	<0,01	0,03	0,03	0,01
Via 5 - Acesso á áreas operacionais	-18,887012	-43,418518	0,54	0,38	<0,01	0,09	0,12	0,02
Via 6 - Acesso à usina	-18,882392	-43,427907	0,09	0,07	<0,01	0,02	0,02	<0,01
Via 7 - Acesso aos britadores	-18,882394	-43,427900	0,15	0,11	<0,01	0,02	0,03	0,01
Via 8 - Acesso ao britador primário (1)	-18,890965	-43,428626	0,06	0,04	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Via 8 - Acesso ao britador primário (2)	-18,895064	-43,431675	0,26	0,18	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Via 9 - Acesso ao britador primário	-18,886129	-43,428489	0,03	0,02	<0,01	0,01	0,01	<0,01
Total			90,90	53,61	0,36	34,10	21,69	3,26

5.2. EMISSÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS

O cômputo das emissões atmosféricas provenientes de atividades realizadas nas residências e nos comércios localizados na área de estudo foi realizado considerando principalmente:

- ❑ Combustão de gás liquefeito de petróleo (GLP), que ocorre em fogões, fornos, aquecedores e caldeiras utilizados nas residências e estabelecimentos comerciais na região. Destaca-se que neste estudo não foram contabilizadas as emissões de gás natural (GN), uma vez que os municípios contemplados no estudo ainda não contam com o abastecimento desse gás;
- ❑ Utilização de produtos contendo compostos orgânicos voláteis, empregados cotidianamente nas atividades da população em geral. Dentre estes produtos, destacam-se os de higiene pessoal e limpeza, controle de vetores e pragas, tintas e solventes.

A quantificação das emissões residenciais e comerciais foi realizada por meio da utilização de fatores de emissão, dados populacionais e consumo de combustíveis (GLP) nos municípios considerados no estudo (Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim).

Os dados populacionais foram obtidos das estimativas da população residente nos municípios brasileiros realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) e são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – População nos Municípios de Conceição do Mato Dentro, Dom Joaquim e Alvorada de Minas

Município	População Estimada (2013)
Conceição do Mato Dentro	18.273
Dom Joaquim	4.632
Alvorada de Minas	3.657
Total	26.562

Fonte: IBGE (2013)

O consumo de GLP nos municípios de Conceição do Mato Dentro, Dom Joaquim e Alvorada de Minas foi estimado com base no consumo no estado de Minas Gerais, ponderado proporcionalmente à população de cada município. Os dados referentes ao consumo de GLP foram obtidos através do 27º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais (BEEMG, 2012), os quais foram extrapolados para o ano base de 2013, considerando o incremento percentual médio do consumo anual no período de 1997 a 2011. O consumo estimado de GLP nos municípios considerados é apresentado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Consumo de GLP por Município da Área de Estudo

Município	Consumo Estimado de GLP em 2013 [m³]
Conceição do Mato Dentro	1.113
Dom Joaquim	282
Alvorada de Minas	223
Total	1.618

As emissões residenciais e comerciais foram representadas sob a forma de polígonos congruentes com as áreas urbanas (áreas mais densamente habitadas) dos municípios de

interesse. A Figura 5.4 apresenta as áreas consideradas para a representação das emissões residenciais e comerciais da área de estudo.

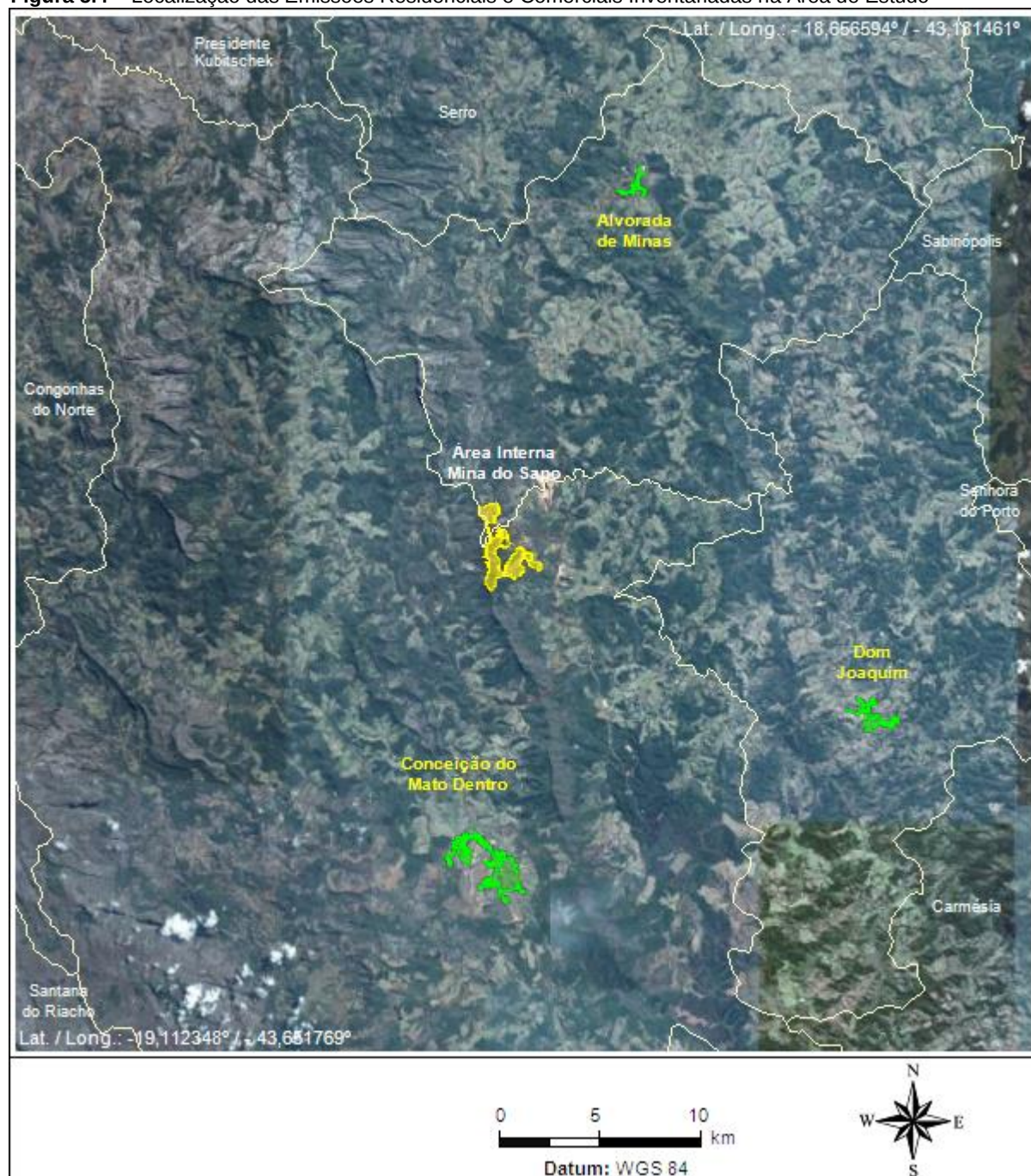
As emissões relacionadas à combustão do GLP foram calculadas com base no procedimento descrito no AP-42 (*Chapter 1.5 – Liquefied Petroleum Gas Combustion*), considerando o butano como principal componente do GLP brasileiro. As emissões evaporativas de compostos orgânicos, relacionadas à utilização de produtos de usos domésticos e comerciais foram estimadas com base na metodologia descrita no AP-42 (*Chapter 4.10 – Commercial/Consumer Solvent Use*).

A Tabela 5.6 apresenta as emissões totais médias de poluentes atmosféricos provenientes de atividades residenciais e comerciais nos municípios da área de estudo.

Tabela 5.6 – Taxas Médias de Emissão de Poluentes Atmosféricos – Atividades Residenciais e Comerciais

Município	Taxa de Emissão de Poluentes Atmosféricos [kg/h]					
	PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Conceição do Mato Dentro	0,01	<0,01	0,02	0,23	0,13	8,78
Dom Joaquim	<0,01	<0,01	0,01	0,06	0,03	2,23
Alvorada de Minas	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,03	1,76
Total	0,01	<0,01	0,03	0,34	0,19	12,77

Figura 5.4 – Localização das Emissões Residenciais e Comerciais Inventariadas na Área de Estudo



5.3. EMISSÕES VEICULARES

As emissões atmosféricas provenientes do tráfego de veículos automotores são originárias de diversos processos, a saber:

- ❑ Processo de combustão nos motores dos veículos gerando gases e partículas lançadas pelo escapamento;
- ❑ Vazamento e evaporação de compostos orgânicos;
- ❑ Processo de frenagem e desgaste de pneus;
- ❑ Ressuspensão das partículas depositadas nas superfícies das vias de tráfego, provocada pela movimentação de veículos.

As emissões veiculares são consideradas fontes móveis, uma vez que a posição espacial da fonte varia conforme ocorre o deslocamento dos veículos nas vias de tráfego. Contudo, o local de ocorrência destas emissões veiculares são sempre as vias. Dessa forma, no inventário elaborado neste estudo as vias de tráfego são a representação espacial das emissões veiculares.

Neste estudo, as vias de maior fluxo de tráfego da área de estudo, denominadas vias primárias, foram consideradas e representadas como fontes emissoras lineares, com as suas respectivas localizações coincidentes com o traçado das vias. Foram consideradas como vias primárias as rodovias estaduais MG-010 e MG-229, nos trechos localizados dentro da área de estudo. As vias com menor fluxo de tráfego, denominadas vias secundárias, foram representadas como fontes emissoras do tipo área, coincidentes com os núcleos populacionais analisados (Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim).

A caracterização do fluxo de tráfego de veículos nas rodovias MG-010 e MG-229 foi realizada com base nos dados de volume médio anual de tráfego, disponibilizados pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG). Estes dados são referentes ao ano de 2008 e foram projetados para o ano base de 2013, considerando o aumento percentual da frota de veículos dos municípios analisados, conforme dados disponibilizados pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

As vias representadas como fontes área (vias secundárias) tiveram seus volumes de tráfego calculados com base nos dados de consumo de combustíveis, disponibilizados no anuário estatístico da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2013) e dados da frota veicular dos municípios consultados no sítio eletrônico do DENATRAN.

Os veículos que circulam na área de estudo utilizam diversos tipos de combustíveis. Os de passeio consomem gasolina, álcool e misturas em diferentes proporções do álcool e da gasolina (carros flex); as motocicletas utilizam gasolina; enquanto os veículos pesados (ônibus e caminhões) em sua maioria são movidos a diesel. Até a data de realização deste inventário, os municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim não contavam com o fornecimento de gás natural veicular (GNV).

Para o cálculo das emissões decorrentes do escapamento dos veículos, provenientes do processo de combustão nos motores, e do processo de frenagem e desgaste de pneus foram utilizados os fatores de emissão publicados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2009), os quais seguem apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Fatores Médios de Emissão dos Veículos – Escapamento e Desgaste de Pneus

Fontes de Emissão	Tipo de Veículo	Fator de emissão (g/km)				
		CO	HC	NO _x	SO _x	PM
Tubo de escapamento	Gasolina C	11,4	1,17	0,75	0,07	0,08
	Álcool	20,1	2,17	1,3	--	--
	Flex (álcool)	0,62	0,1	0,06	--	--
	Diesel	13,4	2,05	9,81	0,13	0,47
	Táxi	0,8	0,44	0,9		
	Motocicletas e similares	10,4	1,41	0,12	0,02	0,05
Emissão do cárter evaporativa	Gasolina C	--	2	--	--	--
	Álcool	--	1,5	--	--	--
	Motocicletas e similares	--	1,2	--	--	--
Pneus	Todos os tipos	--	--	--	--	0,07

Fonte: CETESB (2009).

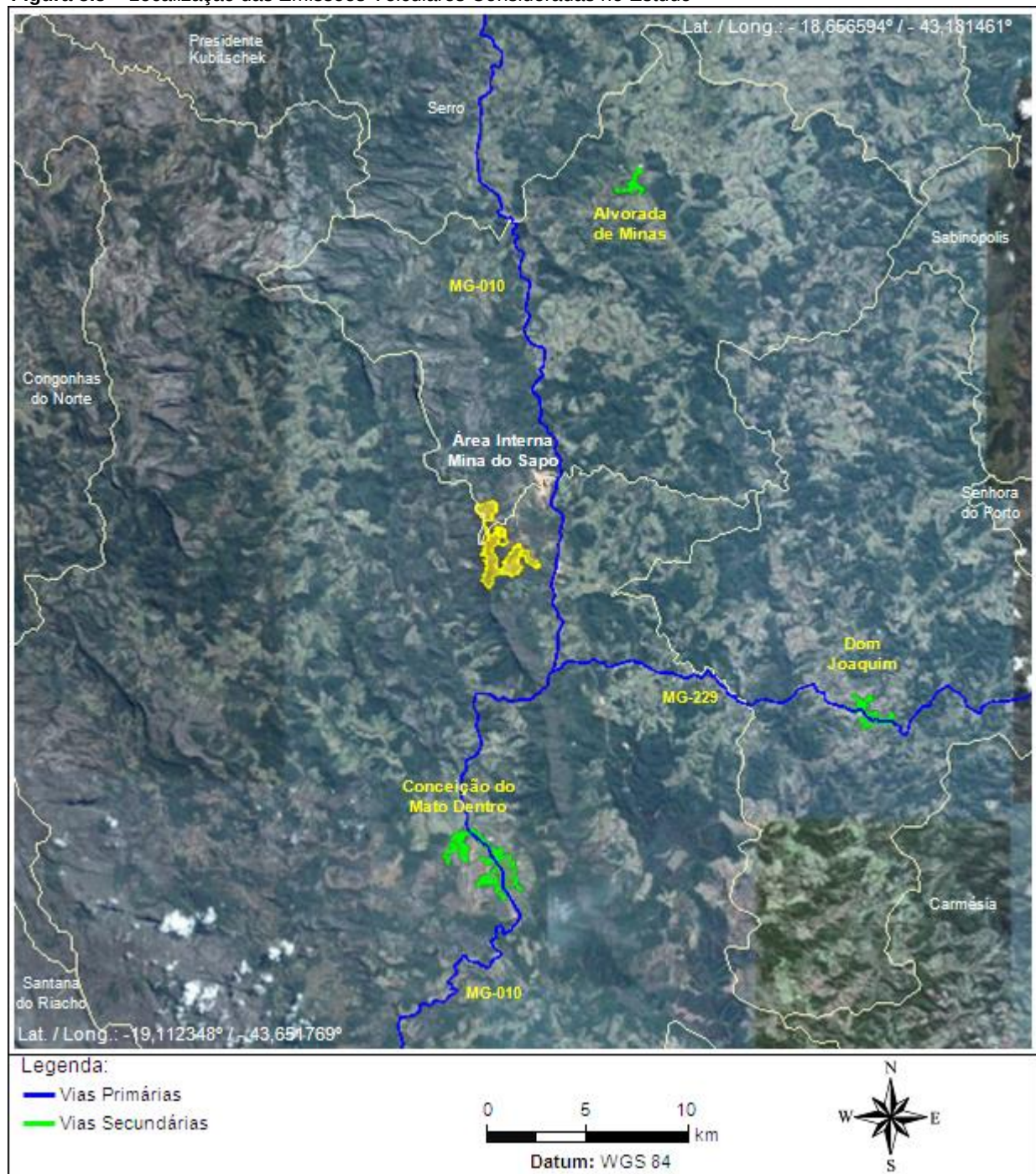
As emissões relacionadas à ressuspensão das partículas depositadas nas superfícies das vias de tráfego, provocada pela movimentação de veículos foram calculadas com base no procedimento descrito no AP-42 da USEPA para vias pavimentadas (*Chapter 13.2.1 – Paved Roads*) e para vias não pavimentadas (*Chapter 13.2.2 – Unpaved Roads*).

A Tabela 5.8 apresenta as estimativas das taxas médias de emissão das vias de tráfego consideradas da área de estudo, enquanto a Figura 5.5 apresenta a localização das vias primárias e secundárias.

Tabela 5.8 – Taxas Médias de Emissão de Poluentes Atmosféricos – Emissões Veiculares

Fonte Emissora		Taxa de emissão de Poluentes [kg/h]					
		PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Vias Lineares	MG-010 - Conceição do Mato Dentro	0,79	0,57	0,02	0,59	2,76	0,69
	MG-010 - Conceição do Mato Dentro a Entrada MG-229 (Sapo)	5,35	3,76	0,02	1,00	3,12	0,72
	MG-010 - Entrada Alvorada de Minas a Entrada Itapanhoacanga	4,90	3,43	< 0,01	0,09	0,54	0,14
	MG-010 - Entrada MG-229 (Sapo) a Entrada São José do Jassém	21,36	14,95	0,02	0,78	2,40	0,55
	MG-010 - Entrada Itapanhoacanga a Entrada MGT-259 (Serro)	4,25	2,98	0,01	0,43	1,78	0,44
	MG-010 - Entrada São José do Jassém a Entrada Alvorada de Minas	16,66	11,66	0,01	0,29	1,80	0,47
	MG-010 - Três Barras a Conceição do Mato Dentro	1,48	1,07	0,04	1,16	6,30	1,61
	MG-229 - Dom Joaquim	0,17	0,12	< 0,01	0,05	0,26	0,07
	MG-229 - Dom Joaquim a Entrada da MG-010 (Sapo)	0,88	0,63	0,01	0,25	1,35	0,34
	MG-229 - Senhora do Porto a Dom Joaquim	0,50	0,35	0,01	0,14	0,75	0,19
Áreas	Vias Secundárias - Alvorada de Minas	3,18	2,28	0,05	2,37	8,61	1,91
	Vias Secundárias - Conceição do Mato Dentro	31,15	22,16	0,37	12,16	73,86	17,90
	Vias Secundárias - Dom Joaquim	7,32	5,22	0,10	4,40	16,98	3,86
Total		97,99	69,18	0,66	23,71	120,51	28,89

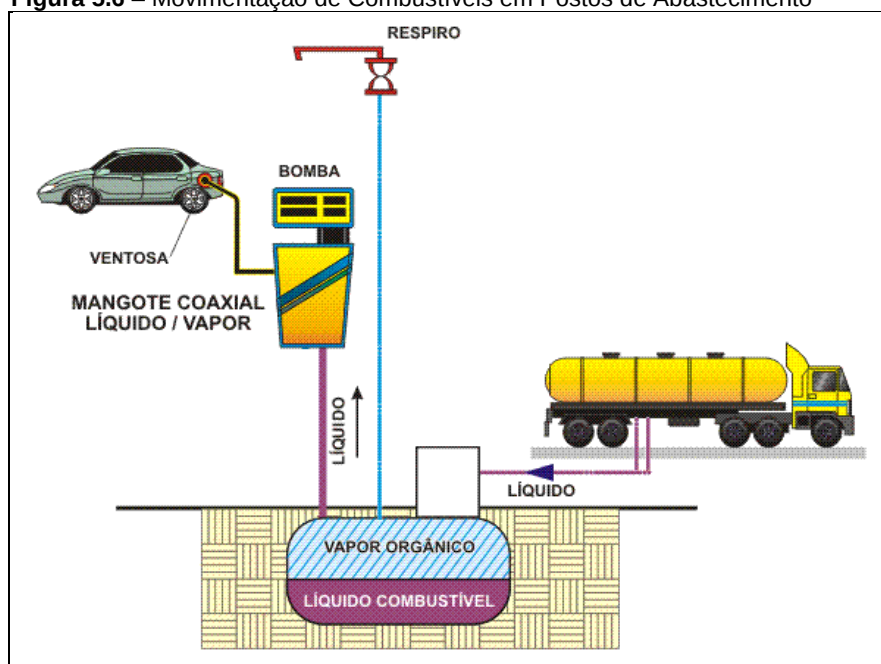
Figura 5.5 – Localização das Emissões Veiculares Consideradas no Estudo



5.4. POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

As emissões de COV em postos de combustíveis são provenientes de perdas para a atmosfera, que ocorrem principalmente durante as operações de abastecimento dos tanques de estocagem e no abastecimento de veículos automotores, conforme representado na Figura 5.6.

Figura 5.6 – Movimentação de Combustíveis em Postos de Abastecimento



Fonte: Capulli e Novello (2007)

Neste estudo foram calculadas as emissões de COV provenientes dos postos de combustíveis existentes na área de estudo (Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim). A lista de postos foi obtida a partir da consulta de postos revendedores disponível no sítio eletrônico da ANP (ANP, 2014), sendo desconsiderados os postos com autorização revogada. A amostragem realizada totalizou 6 postos em funcionamento na área de estudo e suas localizações são apresentadas na Figura 5.7.

A estimativa das emissões de COV provenientes dos postos de combustíveis foi realizada com base nos fatores de emissão do AP-42 da USEPA (*Chapter 5.2 – Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids*) e os volumes de combustíveis comercializados nos municípios analisados no ano base de 2013 fornecidos pela ANP.

A Tabela 5.9 apresenta as taxas médias de emissão de COV para os postos de abastecimento de combustíveis inventariados na área de estudo.

Figura 5.7 – Localização dos Postos de Abastecimento de Combustíveis Inventariados

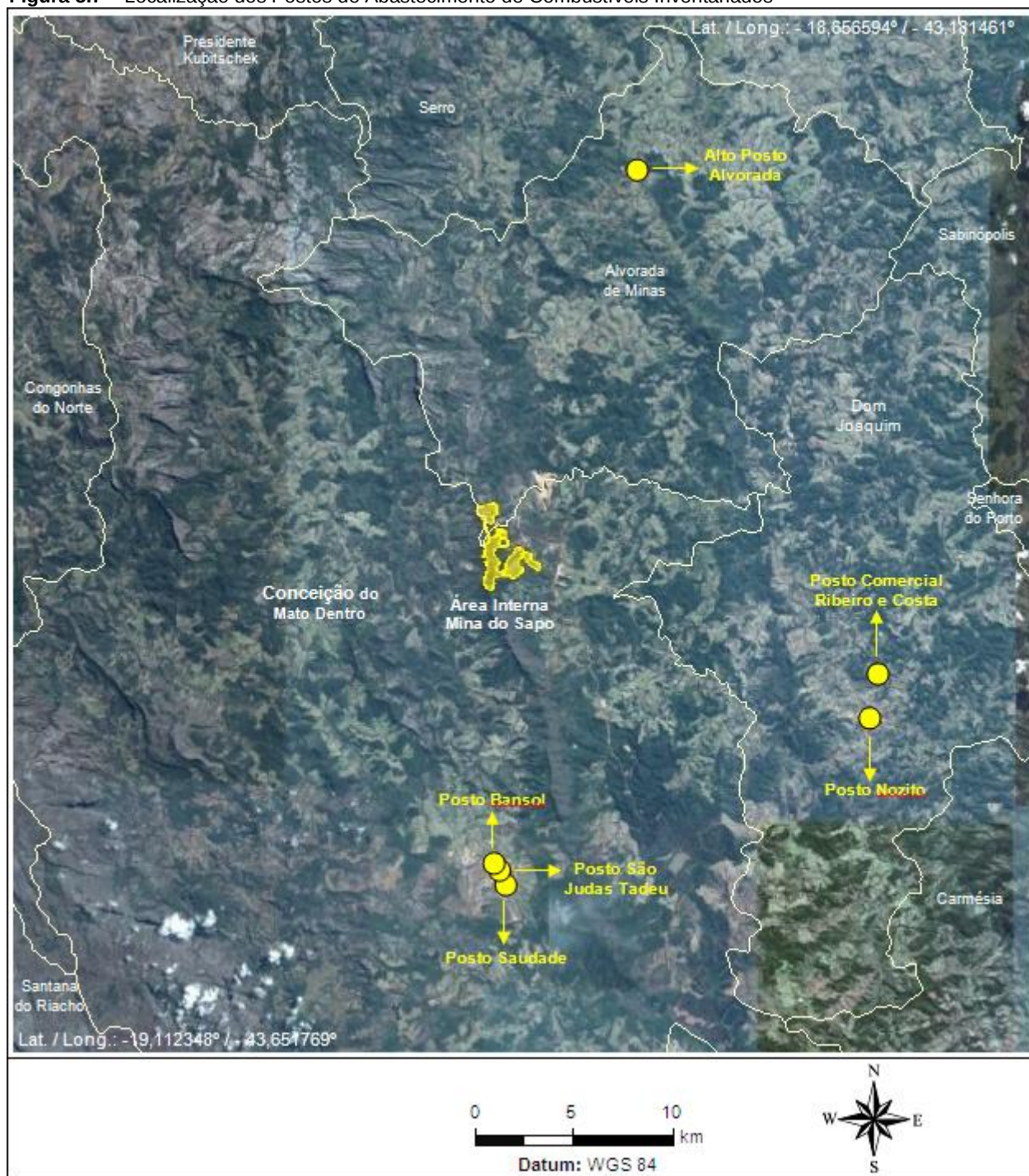


Tabela 5.9 – Taxas Médias de Emissão de Poluentes Atmosféricos – Postos de Abastecimento de Combustíveis

Postos de Combustíveis	Município	COV [kg/h]
Posto Saudade	Conceição do Mato Dentro	0,32
Auto Posto São Judas Tadeu		0,31
Auto Posto Bansol		0,22
Posto Nozito Ltda.	Dom Joaquim	0,02
Comercial Ribeiro e Costa Ltda.		0,02
Auto Posto Alvorada Ltda. - ME	Alvorada de Minas	0,05
Total		0,94

5.5. EMISSÕES BIOGÊNICAS

As seções anteriores apresentaram as quantificações das emissões de poluentes atmosféricos das principais tipologias de fontes de origem antropogênica existentes na área de estudo. Contudo, a natureza e os processos naturais também emitem poluentes que interagem na qualidade do ar de uma dada região, sendo denominadas de fontes naturais. Como exemplo, podemos citar a ação do vento sobre superfícies instáveis que produzem poeira, o mar que emite aerossóis e as plantas que emitem partículas e gases.

As fontes biogênicas são um subconjunto das fontes naturais, caracterizando-se por emissões oriundas da vegetação e do solo, além de emissão por reações microbiológicas. Nas emissões biogênicas podem estar incluídos compostos orgânicos, aerossóis, óxidos de nitrogênio, dentre outros poluentes. Segundo Guenther et al. (2006), as emissões biogênicas liberam para a atmosfera, principalmente metano e isoprenos, sendo as atividades microbianas responsáveis por grande parte da emissão de metano e as plantas por aproximadamente 90% da emissão global de isoprenos.

A vegetação também é uma fonte importante de compostos orgânicos voláteis, incluindo isoprenos, monoterpenos, (α -pineno, β -pineno, limoneno, etc.) e compostos oxigenados como álcoois e aldeídos. As emissões da vegetação dependem da espécie vegetal e das condições climáticas, sendo que a temperatura afeta todos os compostos, enquanto a luminosidade afeta, sobretudo, as emissões de isopreno e monoterpenos para algumas espécies.

Neste estudo foi utilizado o mecanismo de cálculo de emissões biogênicas, denominado MEGAN (*Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature*), desenvolvido pela *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR, 2007).

O modelo de emissão biogênica MEGAN calcula a distribuição detalhada das espécies de vegetação, processos de cobertura e outros fatores ambientais, a fim de simular este tipo de emissão. Ele possibilita estimar a taxa de emissão de gases e/ou partículas gerados pela biosfera terrestre, utilizando informações como: tipo de vegetação, índice de área foliar, fatores de emissão, temperatura do ar ambiente, radiação solar, densidade de fluxo fotossintético, dentre outros.

O MEGAN calcula a taxa de emissão de COV para cada célula do domínio de modelagem e para cada instante, em função das informações da cobertura da superfície terrestre da célula e das condições meteorológicas para cada hora modelada.

O modelo está preparado para tratar 138 compostos químicos agrupados em 20 famílias, o que facilita o tratamento do comportamento de cada composto no contexto de emissões biogênicas. A Tabela 5.10 apresenta as famílias de compostos resolvidos pelo MEGAN.

Tabela 5.10 – Famílias de Compostos do MEGAN

Famílias	Siglas	Famílias	Siglas
Isoprene	ISOP	b-Caryophellene	BCAR
Methyl Butenol	MBO	Methanol	MEOH
Myrcene	MYRC	Acetone	ACTO
Sabinene	SABI	Acetaldehyde	ACTA
Limonene	LIMO	Formaldehyde	FORM
3-Carene	3CAR	Methane	CH4
Ocimene	OCIM	Nitrogen Oxide	NO
b-Pinene	BPIN	Monoterpenes	OMTP
a-Pinene	APIN	Sesquiterpenes	OSQT
Farnesene	FARN	Carbon Monoxide	CO

Fonte: Guenther et al (2006).

Na modelagem de qualidade do ar realizada com o CMAQ, as emissões biogênicas são computadas a cada hora modelada, para cada célula da malha computacional, considerando as condições meteorológicas presentes. A título de exemplo, as Figuras 5.8 e 5.9 apresentam cenários de emissões de COV de origem biogênica para o período noturno (15/05/2013 00:30) e para a o período diurno (15/05/2013 12:30), respectivamente, representando a primeira camada de ar com 21 metros de altura localizada adjacente à superfície.

É possível observar que o cenário apresentado na Figura 5.9 (período diurno) apresenta maiores taxas de emissões de COV de origem biogênica. Este fato é esperado, visto que a presença de luz solar permite uma maior atividade bioquímica das fontes biogênicas.

Figura 5.8 – Exemplo de Cenário de Emissões Biogênicas de COV na Área de Estudo no Dia 15/05/2013 00:30
 – Camada de 21 m Próxima a Superfície

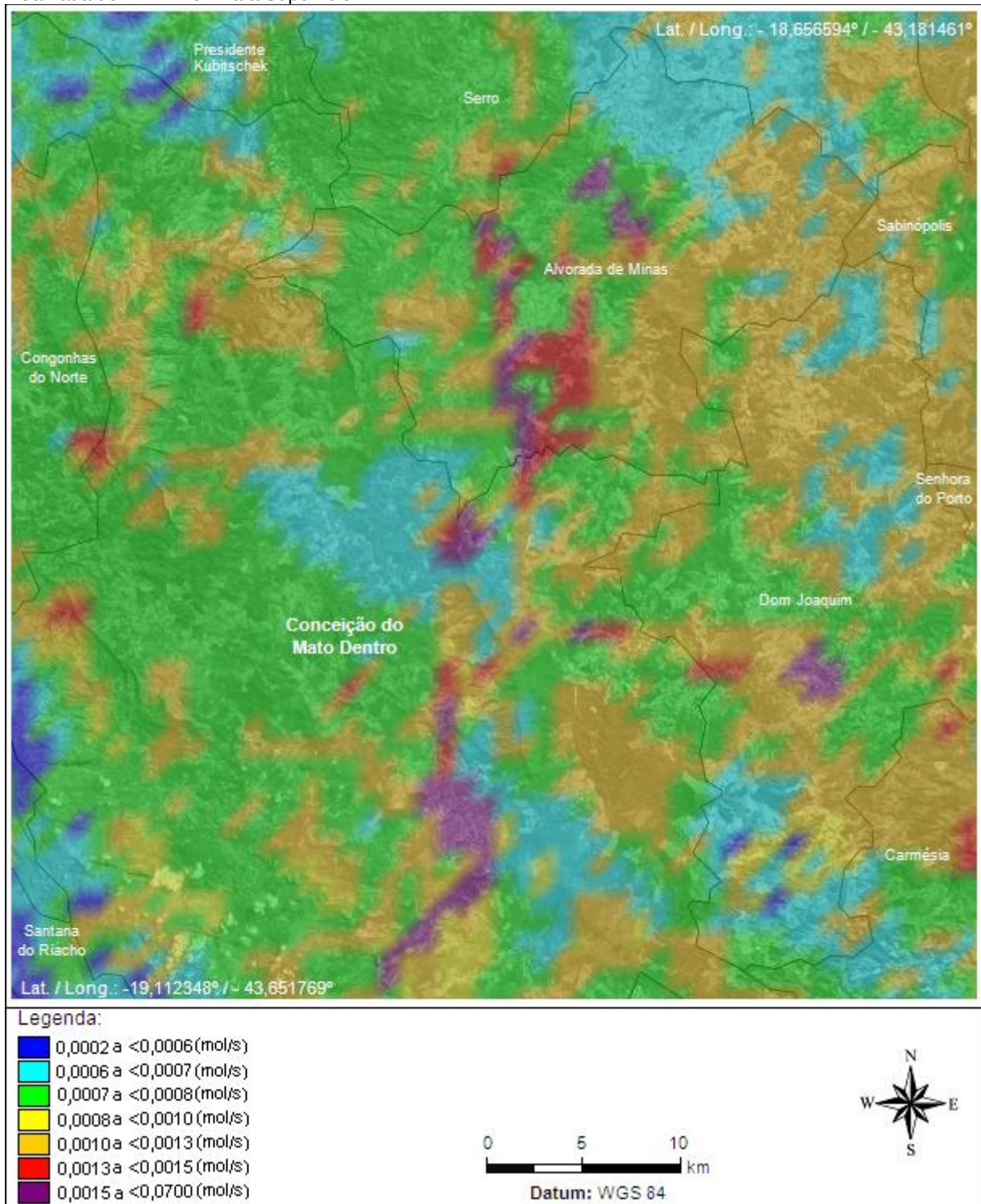
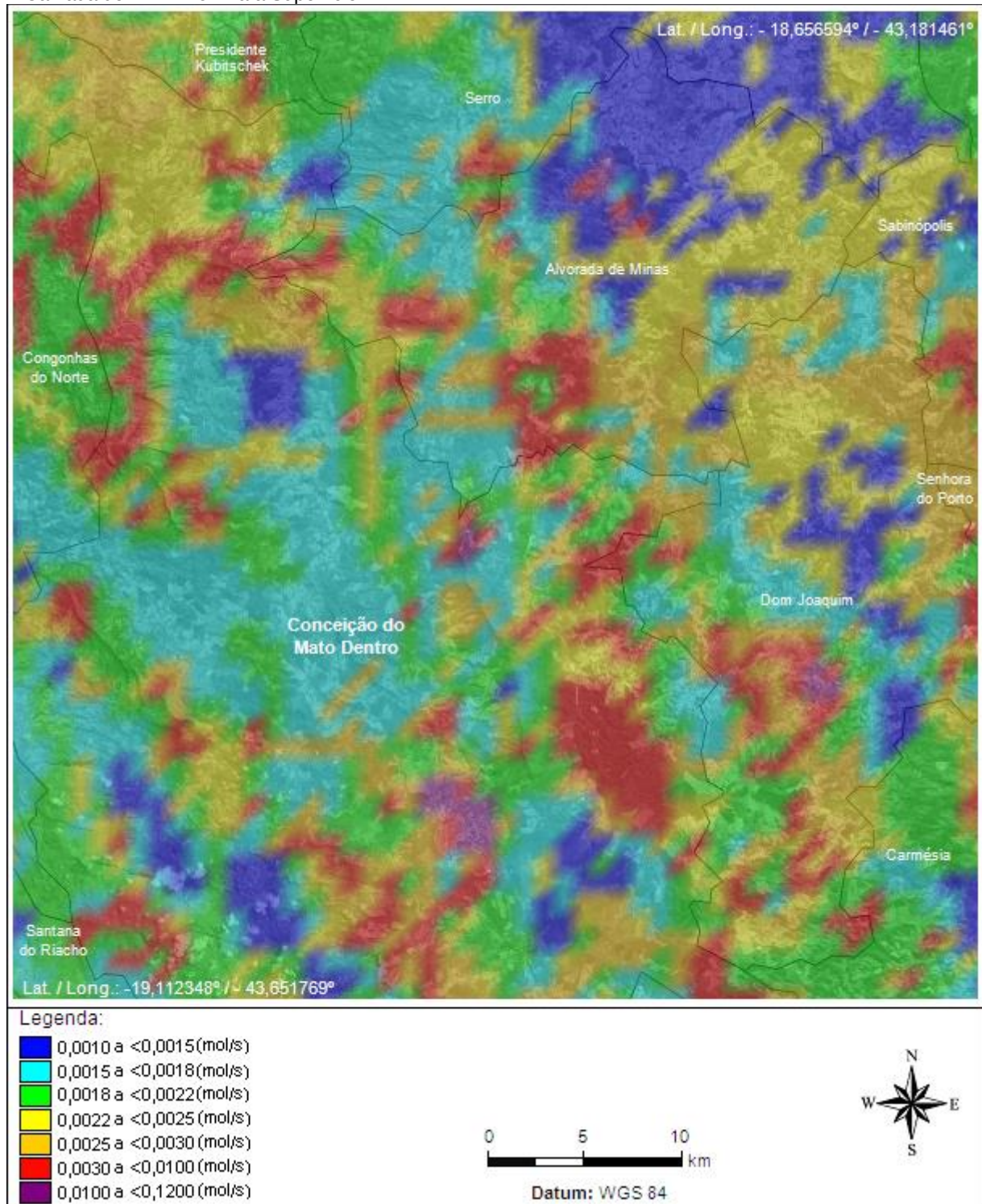


Figura 5.9 – Exemplo de Cenário de Emissões Biogênicas de COV na Área de Estudo no Dia 15/05/2013 12:30
– Camada de 21 m Próxima a Superfície



5.6. EMISSÕES DE QUEIMADAS

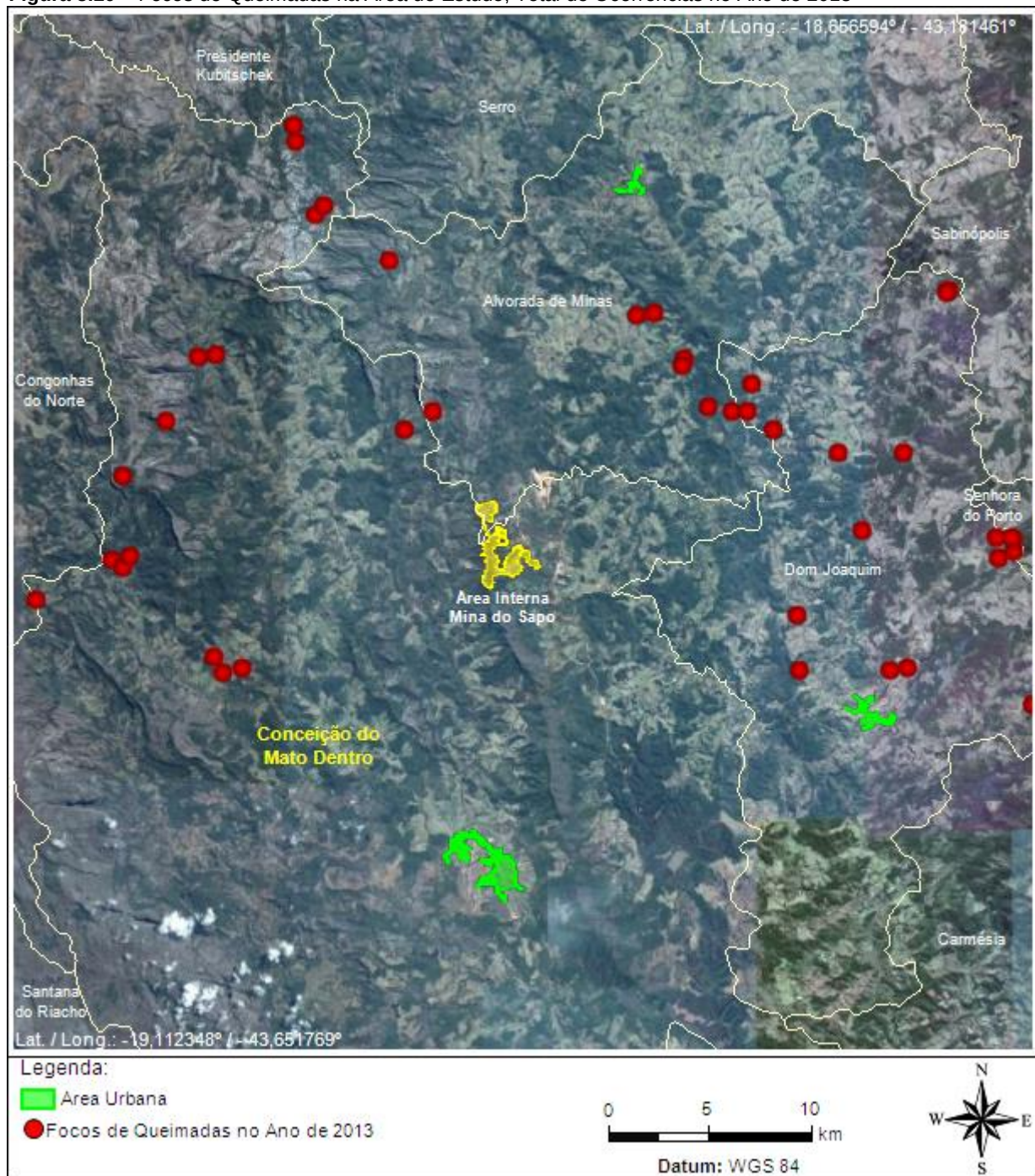
A queimada é um processo de combustão de biomassa, que ocorre por razões naturais ou por ação antropogênica. As emissões atmosféricas de poluentes provenientes das queimadas geram efeitos relevantes no equilíbrio climático e biogeoquímico de uma determinada região em escala local, podendo afetar até outras regiões, em uma escala regional e, dependendo do nível das queimadas, pode atingir uma escala global (FREITAS et. al. 2005).

As emissões decorrentes de queimadas apresentam um comportamento sazonal de ocorrência, de curta duração (horas), com intensificação após o período mais prolongado de seca, pois é nessa época que a vegetação está mais suscetível à propagação do fogo. Dessa forma, tais emissões dependem de diversos fatores, dentre eles as condições meteorológicas e o tipo e quantidade de biomassa queimada.

Neste estudo, foi realizado um levantamento do número de focos de queimadas ocorridos nos municípios de Conceição do Mato Dentro, Alvorada de Minas e Dom Joaquim no ano base de 2013, tendo como fonte de dados as informações de monitoramento por satélite realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2014). A Figura 5.10 apresenta a identificação dos focos de queimadas enquanto que a Tabela 5.11 apresenta a localização, data e horário de ocorrência.

Observa-se que durante todo o ano de 2013 foi identificada 58 ocorrências de focos de queimadas, sendo 8 em Alvorada de Minas, 31 em Conceição do Mato Dentro e 19 em Dom Joaquim. Tendo em vista o pequeno número de focos e considerando que as queimadas são fontes temporárias e geralmente apresentam curta duração, as emissões de queimadas não foram computadas para alimentação do modelo matemático de simulação de concentração de poluentes na atmosfera.

Figura 5.10 – Focos de Queimadas na Área de Estudo, Total de Ocorrências no Ano de 2013



Fonte: INPE, 2014

Tabela 5.11 – Data e Localização dos Focos de Queimadas no Ano de 2013

Município	Focos de Queimadas	Latitude (°)	Longitude (°)	Data	Hora
Alvorada de Minas	1	-18,789	-43,3550	14/10/2013	19:46:34
	2	-18,790	-43,3630	14/10/2013	19:46:34
	3	-18,830	-43,3300	15/10/2013	20:11:41
	4	-18,832	-43,3190	25/10/2013	16:15:00
	5	-18,766	-43,4770	28/10/2013	16:43:01
	6	-18,812	-43,3420	4/11/2013	16:15:28
	7	-18,809	-43,3410	4/11/2013	16:15:28
	8	-18,832	-43,4570	5/11/2013	16:00:22
Conceição do Mato Dentro	1	-18,860	-43,600	26/2/2013	19:30:00
	2	-18,900	-43,600	26/2/2013	19:30:00
	3	-18,895	-43,597	9/3/2013	00:01:54
	4	-18,897	-43,605	9/3/2013	00:01:54
	5	-18,840	-43,470	25/9/2013	18:30:00
	6	-18,944	-43,545	26/9/2013	00:26:52
	7	-18,946	-43,554	26/9/2013	00:26:52
	8	-18,914	-43,640	26/9/2013	01:30:00
	9	-18,939	-43,558	26/9/2013	01:30:00
	10	-19,128	-43,556	26/9/2013	16:43:09
	11	-18,752	-43,794	12/10/2013	16:45:00
	12	-18,742	-43,796	12/10/2013	16:45:00
	13	-18,749	-43,787	12/10/2013	16:48:45
	14	-18,735	-43,779	13/10/2013	16:30:16
	15	-18,728	-43,780	13/10/2013	16:30:16
	16	-18,707	-43,521	24/10/2013	16:24:19
	17	-18,714	-43,520	24/10/2013	16:24:19
	18	-18,808	-43,565	24/10/2013	16:24:19
	19	-18,807	-43,557	24/10/2013	16:24:19
	20	-18,684	-43,840	25/10/2013	16:06:07
	21	-18,683	-43,832	25/10/2013	16:06:07
	22	-18,687	-43,846	25/10/2013	16:15:00
	23	-18,685	-43,828	25/10/2013	16:15:00
	24	-19,140	-43,550	26/10/2013	14:52:48
	25	-19,130	-43,530	26/10/2013	14:52:48
	26	-18,687	-43,842	26/10/2013	15:48:35
	27	-18,686	-43,843	26/10/2013	16:55:08
	28	-18,746	-43,511	31/10/2013	15:53:57
	29	-18,742	-43,507	31/10/2013	15:53:57
	30	-19,251	-43,154	4/11/2013	16:15:28
	31	-18,836	-43,580	4/11/2013	16:15:28
Dom Joaquim	1	-18,893	-43,189	24/8/2013	13:15:41
	2	-18,896	-43,196	24/8/2013	13:15:41
	3	-18,960	-43,180	25/8/2013	16:15:00
	4	-18,960	-43,180	25/8/2013	16:30:00
	5	-18,779	-43,219	14/10/2013	16:09:09
	6	-18,887	-43,197	14/10/2013	16:35:00
	7	-18,780	-43,220	14/10/2013	16:35:00
	8	-18,944	-43,238	14/10/2013	19:46:34
	9	-18,945	-43,246	14/10/2013	19:46:34
	10	-18,820	-43,310	15/10/2013	20:11:42
	11	-18,850	-43,270	15/10/2013	20:30:00
	12	-18,850	-43,240	15/10/2013	20:30:00
	13	-18,840	-43,300	15/10/2013	20:30:00
	14	-18,888	-43,189	21/10/2013	16:40:00
	15	-18,887	-43,190	24/10/2013	16:24:19
	16	-18,921	-43,289	24/10/2013	16:24:19
	17	-18,945	-43,288	25/10/2013	16:06:07
	18	-18,832	-43,312	25/10/2013	16:06:07
	19	-18,884	-43,259	4/11/2013	16:15:28

Fonte: INPE, 2014

6. MODELO METEOROLÓGICO E DE QUALIDADE DO AR

Neste capítulo são apresentadas as descrições dos modelos WRF e CMAQ, utilizados, respectivamente, para a descrição das condições meteorológicas e qualidade do ar da área de estudo.

6.1. MODELO METEOROLÓGICO WRF

A execução de modelagem matemática da dispersão dos poluentes na atmosfera com aplicação do modelo CMAQ requer a utilização de variáveis meteorológicas que não são usualmente mensuradas em estações de superfície atualmente existentes no Brasil.

A Anglo American conta com uma estação meteorológica superfície. Entretanto, para a aplicação do modelo de qualidade do ar CMAQ, há a necessidade de obtenção de informações meteorológicas que não são medidas em estações de superfície.

Com o objetivo de suprir a carência de dados meteorológicos, utilizou-se o modelo de previsão WRF para a obtenção dos cenários meteorológicos característicos da área de estudo. A modelagem meteorológica de mesoescala (modelo WRF) cumpre com importantes objetivos, descritos resumidamente a seguir:

- ❑ Descrição das condições meteorológicas da região, de maneira abrangente e com a assimilação dos efeitos do terreno sobre as condições atmosféricas;
- ❑ Geração de dados de entrada para a modelagem de qualidade do ar com o modelo CMAQ, que por se tratar de um modelo numérico, com malha tridimensional e transiente, necessita da geração de dados meteorológicos de superfície e altitude em malha de modelagem compatível, tridimensional e transiente.

Para a inicialização e alimentação do modelo meteorológico foram utilizados dados fornecidos pelo modelo numérico global para previsão do tempo, o *Global Forecast System / National Centers for Environmental Prediction* (GFS/NCEP). Os arquivos FNL (Final), disponíveis para download diretamente do site, possuem saídas a cada 6 horas, em uma resolução de 1° x 1° latitude/longitude, respectivamente (UCAR, 2013).

A caracterização da superfície terrestre da área de estudo também é essencial para a execução da modelagem de dispersão dos poluentes, incluindo informações como relevo, rugosidade do solo, albedo, uso e ocupação do solo, dentre outras. Esta base de dados foi obtida a partir de informações disponibilizadas pelo USGS (*United States Geological Survey*).

A topografia e a ocupação do solo são parâmetros importantes a serem caracterizados para a modelagem numérica, visto que descrevem o nível de complexidade da região em estudo, identificando áreas urbanas, rios, florestas, pastagens e outros tipos de ocupação. O tipo de topografia e o uso do solo, somados à diversidade de fontes de poluição existentes na área de estudo (pilhas de materiais, veículos automotores, entre outras) e à circulação atmosférica local, tornam a representação dos processos e sistemas atmosféricos através dos modelos numéricos, uma tarefa de alta complexidade.

Para a implementação do modelo WRF, foram definidos domínios computacionais muito maiores que a área de estudo delimitada para aplicação do CMAQ, mantendo o mesmo centro de grade. Esta abordagem é necessária para a modelagem numérica, evitando problemas relacionados aos "efeitos de borda", associados aos fenômenos meteorológicos de grande escala. A Figura 6.1 apresenta as grades (domínios computacionais) utilizadas na modelagem WRF e a grade utilizada para a modelagem CMAQ.

Fez-se uso do alinhamento de grades para a modelagem meteorológica, utilizando quatro domínios acoplados, centralizados e com diferentes resoluções horizontais. Esta abordagem representa um sistema telescópico onde os quatro domínios são concêntricos. O alinhamento de grade adotado neste estudo ocorre no modo chamado *1-way*, onde os resultados da grade maior são utilizados como condição de contorno para a grade interna aninhada.

A utilização de grades aninhadas na modelagem meteorológica proporciona um melhor detalhamento e melhor qualidade das informações de interesse para a grade de alta resolução espacial (Domínio 4), que é a área de efetivo interesse no presente estudo. Isso ocorre porque o modelo WRF trabalha os fenômenos meteorológicos de grande escala (Domínios 1 e 2) simultaneamente com os fenômenos regionais e locais (Domínios 3 e 4).

Para aplicação do CMAQ tomou-se o ano completo de 2013 como base. A grade mais refinada para a execução do modelo CMAQ teve menores dimensões quando comparada com o domínio 4 do WRF. Enquanto esta última tem 70x70 km, a grade do CMAQ possui 50x50 km.

Os principais parâmetros utilizados nas simulações com o modelo WRF para a obtenção dos dados de entrada para o modelo CMAQ estão sintetizados na Tabela 6.1.

Os dados reproduzidos através da modelagem com o WRF foram tomados como médias horárias, 24 horas por dia. A partir dos campos meteorológicos calculados por essa simulação, foram geradas séries históricas representativas para a região de estudo, contendo 8.760 registros médios horários referentes ao período modelado e para diversos parâmetros.

Dentre os parâmetros meteorológicos que mais influenciam na qualidade do ar, destaca-se o vento, pois, além de influenciar no regime de emissão das principais tipologias de fontes existentes na região, influenciam sobremaneira na dispersão dos poluentes analisados, sendo determinantes nas concentrações modeladas, bem como na determinação das regiões mais comumente impactadas. Exemplificando as condições de vento, a Figura 6.2 apresenta um campo de ventos e a rosa dos ventos calculados com a aplicação do modelo WRF.

A rosa dos ventos apresentada na Figura 6.2 indica as condições de vento médias, calculadas pelo modelo WRF para a região de estudo. Nesta informação média observa-se a ocorrência de ventos predominantemente provenientes dos quadrantes Leste (E) e Leste Nordeste (ENE). Nesta mesma figura é possível observar o campo de vento típico da área de estudo obtido por simulação meteorológica com o modelo WRF para o dia 23/01/2013 às 17:30.

A modelagem de qualidade do ar com o modelo CMAQ utilizou como dados de entrada as 8.760 matrizes tridimensionais contendo a totalidade das informações meteorológicas processadas pelo WRF. Desta forma, é possível garantir a representação das variáveis meteorológicas para as modelagens de qualidade do ar de maneira mais abrangente e preservando as heterogeneidades das condições atmosféricas da área de estudo.

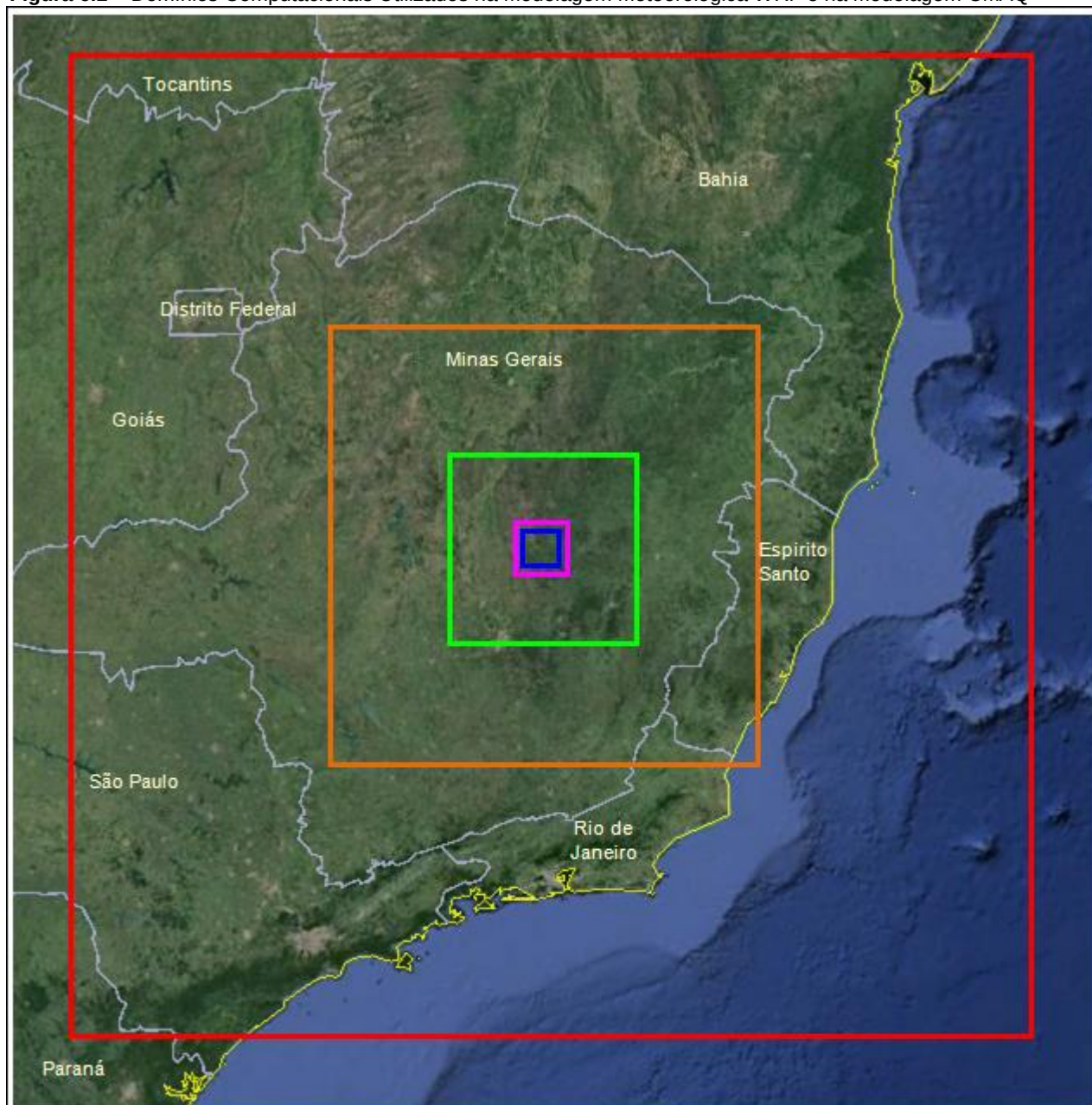
A caracterização meteorológica de mesoescala, elaborada com detalhes pelo modelo WRF, é composta de grandes e numerosas matrizes numéricas cuja reprodução é praticamente inviável num relatório impresso. Dessa forma, outras variáveis meteorológicas utilizadas no modelo de dispersão atmosférica são apresentadas na forma de um extrato resumindo seu comportamento típico na região de estudo, de acordo com o modelo meteorológico WRF.

As análises estatísticas das variáveis meteorológicas: temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa do ar na área de estudo são apresentadas nos Gráficos 6.1 a 6.3, respectivamente.

Tabela 6.1 – Resumo dos Detalhes Técnicos da Simulação Meteorológica WRF para a Região de CMD

Parâmetros Temporais				
Período Simulado	2013			
Data Inicial	01/01/2013			
Data Final	31/12/2013			
Hora Inicial (UTC)	00h00min			
Hora Final (UTC)	23h59min			
Duração	8.760 horas			
Parâmetros Espaciais				
Resolução do Grid	27 km	9 km	3 km	1 km
Número de Linhas	50	65	83	70
Colunas	50	65	83	70
Camadas Verticais	24			
Grid Central (UTM X,Y)	511.287 m E; 7.772.469 m N			
Time Step	120			
Níveis Sigma	1,0000; 0,9975; 0,9925; 0,9900; 0,9825; 0,9720; 0,9575; 0,9300; 0,8825; 0,8000; 0,7500; 0,7000; 0,6500; 0,6000; 0,5200; 0,4500; 0,4000; 0,3600; 0,3150; 0,2700; 0,2100; 0,1500; 0,0900; 0,0000.			
Opções de Físicas e Dinâmicas				
Microphysics	WSM 6-Class Graupel Scheme			
Longwave Radiation	RRTM Scheme			
Shortwave Radiation	Dudhia Scheme			
Surface Layer	Pleim-Xiu Scheme			
Land Surface	Pleim-Xiu Scheme			
Planetary Boundary Layer - PBL	ACM2 Scheme			
Cumulus Parameterization	Kain-Fritsch Scheme			
Time Integration Scheme Option	Runge-Kutta 3rd order			
Turbulence and Mixing Option	Evaluates 2nd order diffusion term on coordinate surfaces			
Eddy Coefficient	Smagorinsky first order closure (3D)			

Figura 6.1 – Domínios Computacionais Utilizados na Modelagem Meteorológica WRF e na Modelagem CMAQ



Legenda:

	Domínios	Dimensões dos Domínios	Lat. min	Long. min	Lat. max	Long. max
	Domínio 1	50x50 células; 27 km resolução; 1.350 km x 1.350 km	-24,869	-50,106	-12,688	-37,188
	Domínio 2	65x65 células; 9 km resolução; 585 km x 585 km	-21,549	-46,301	-16,179	-40,621
	Domínio 3	83x83 células; 3 km resolução; 249 km x 249 km	-20,021	-44,629	-17,741	-42,219
	Domínio 4	70x70 células; 1 km resolução; 70 km x 70 km	-19,210	-43,761	-18,559	-43,082
	Domínio CMAQ	50x50 células; 1 km resolução; 50 km x 50 km	-19,112	-43,652	-18,657	-43,181

Figura 6.2 – Exemplo de Campo de Vento e Rosa dos Ventos Típicos da Área de Estudo Obtidos por Simulação Meteorológica com o Modelo WRF (23/01/2013 17:30)

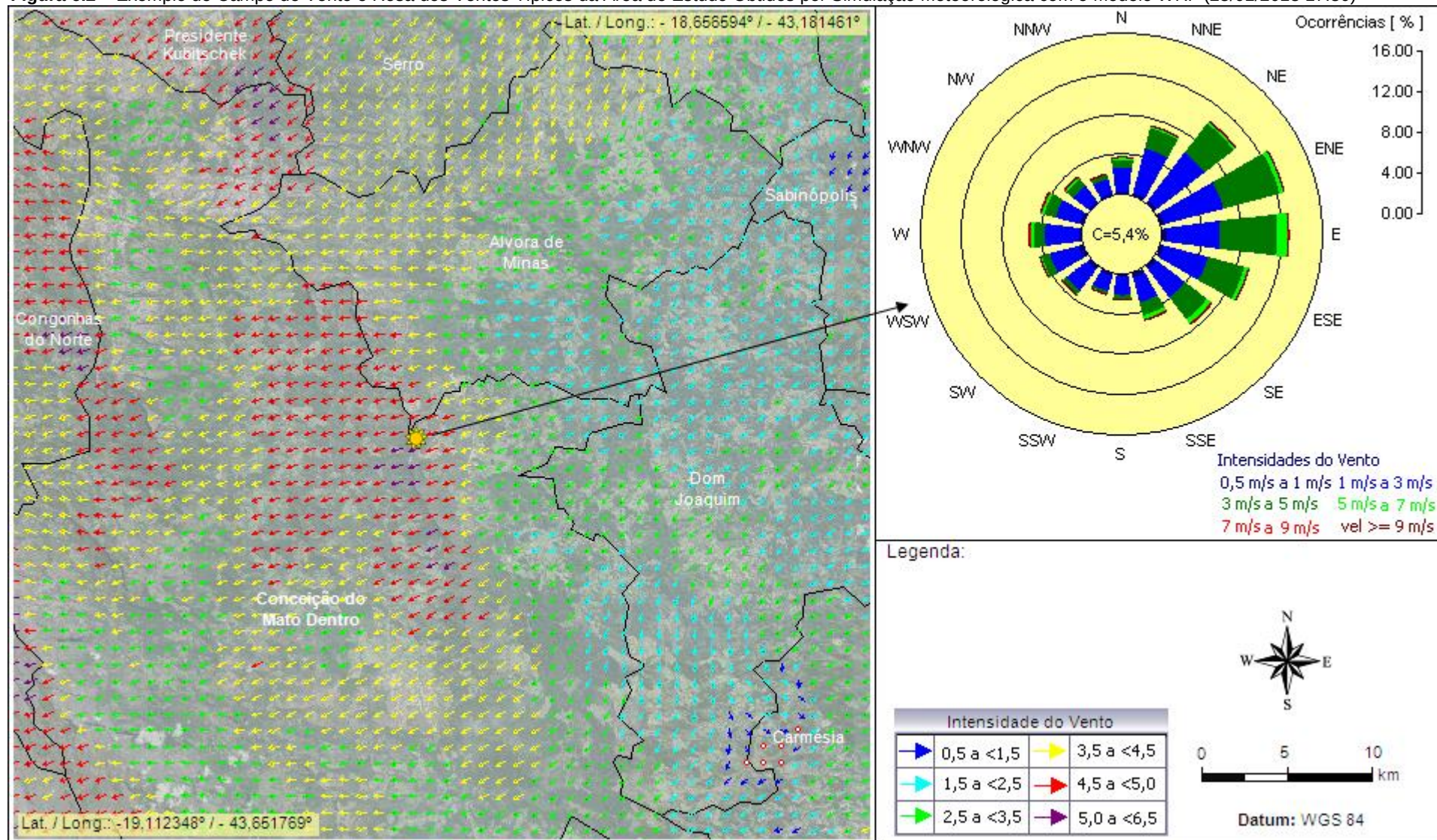


Gráfico 6.1 – Análise Estatística de Temperatura do Ar para CMD Obtida por Simulação Atmosférica com o Modelo WRF – Ano de 2013

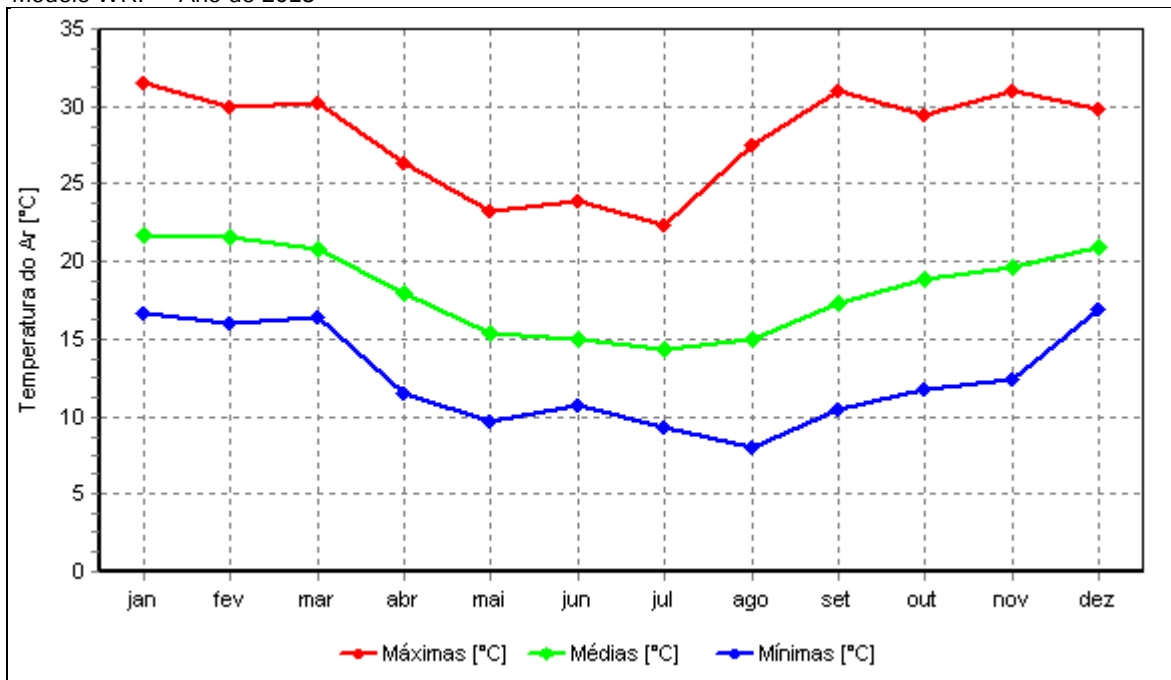


Gráfico 6.2 – Médias Horárias de Radiação Solar para CMD Obtidas por Simulação Atmosférica com o Modelo WRF – Ano de 2013

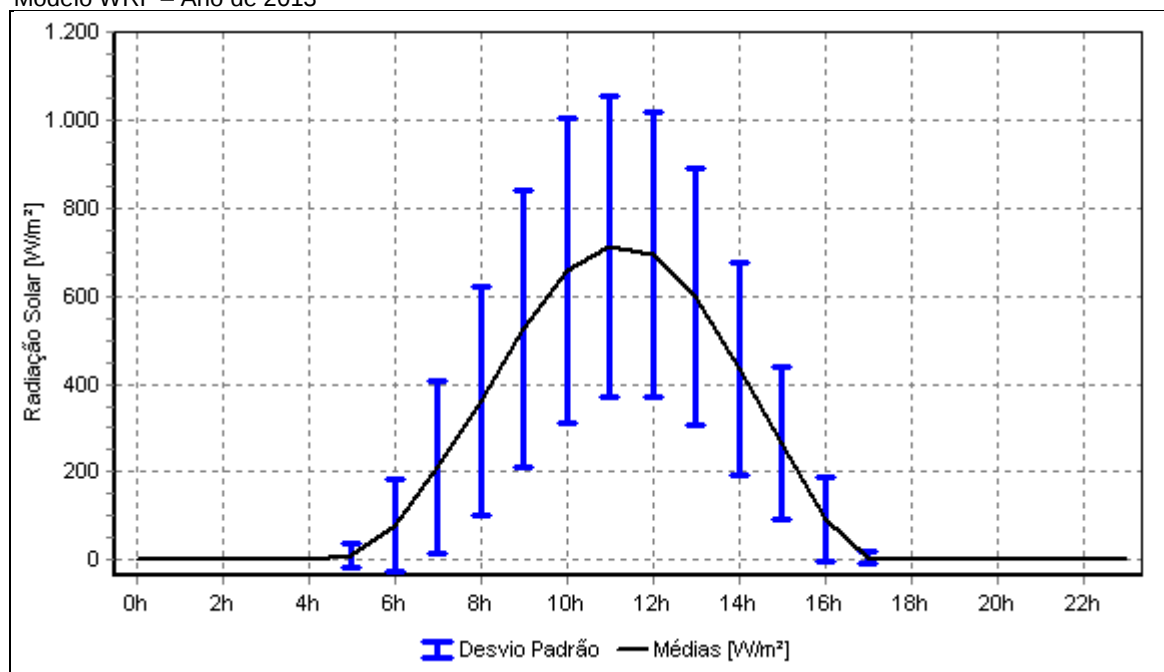
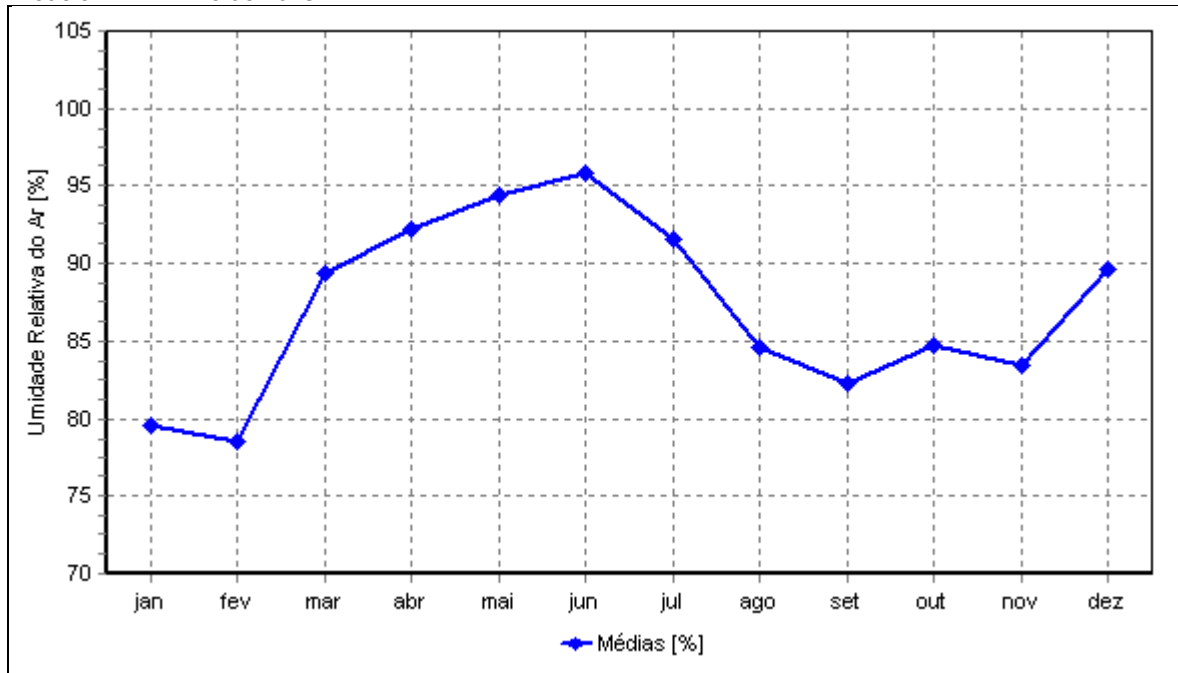


Gráfico 6.3 – Análise Estatística de Umidade Relativa para CMD Obtida por Simulação Atmosférica com o Modelo WRF – Ano de 2013



6.2. MODELO DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICA CMAQ

O modelo CMAQ (*Community Multiscale Air Quality Model*) é um projeto em desenvolvimento da Divisão de Modelagem e Ciência Atmosférica da USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), que consiste em um conjunto de programas para realização de simulações de qualidade do ar de uma determinada região. No CMAQ são utilizadas as técnicas mais atuais para modelar aspectos complexos da qualidade do ar, sendo um modelo de multiescala (urbana e regional) e multipoluentes (ozônio, partículas, gases e deposição ácida).

O CMAQ necessita de informações meteorológicas previamente geradas por modelos de meteorológicos de mesoescala, como por exemplo, o WRF. A base de cálculo do modelo CMAQ é feita com equações diferenciais de conservação de espécies químicas, utilizando campos meteorológicos calculados.

O modelo é fisicamente consistente e calcula os resultados de concentrações em regime transiente. A abordagem numérica utilizada é a mais acurada atualmente disponível para a solução de escoamentos e cálculo das concentrações de poluentes na atmosfera. No entanto, a aplicação desse modelo é altamente complexa e exige um enorme esforço computacional para a geração dos cenários de qualidade do ar. Nas próximas seções são descritas as principais características do modelo CMAQ.

6.2.1. Meteorologia

A modelagem de qualidade do ar utilizou como dados de entrada matrizes tridimensionais, contendo a totalidade das informações meteorológicas processadas pelo WRF, para todo o ano de 2013.

A aplicação do CMAQ necessita que um conjunto de variáveis meteorológicas específicas esteja disponível para cada célula da malha computacional tridimensional, cada nível sigma (de altitude) e cada hora de modelagem. Para atendimento deste fim, utiliza-se o aplicativo MCIP

(*Meteorology-Chemistry Interface Processor*), responsável por adequar todas as variáveis provenientes do modelo WRF ao formato de entrada do CMAQ. A finalidade deste aplicativo é gerar as condições meteorológicas iniciais e de contorno, interpolando estas informações ao tipo de balanceamento de malha utilizada pelo CMAQ (Arakawa-C), além de gerar as informações relativas à localização geográfica da malha e de cada célula (USEPA, 1999).

6.2.2. Condições Iniciais e de Contorno

As condições iniciais são necessárias ao modelo para inicializar os campos de concentração dos poluentes modelados pelo CMAQ a fim de estabelecer um perfil de inicialização da modelagem numérica de qualidade do ar. O ICON é o pré processador do CMAQ responsável por gerar as informações de condições iniciais. Isto é feito através da configuração de um arquivo de perfil de condições iniciais gerado pelo usuário, onde é informado, para cada espécie do CMAQ e em cada nível, qual a sua concentração inicial no instante da primeira hora de modelagem. Espécies de gases têm a concentração expressa em partes por milhão (ppm), e espécies de aerossóis em micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Além das condições iniciais, as condições de borda, também denominadas condições de contorno, são utilizadas pelo CMAQ para representar o que acontece, em termos de qualidade do ar, nos limites da malha computacional especificada. Tais condições são expressas pela configuração da concentração das espécies do modelo CMAQ nas faces norte, sul, leste e oeste da malha computacional, aliado às condições meteorológicas de contorno geradas pelo modelo MCIP. O BCON é o software responsável, no pacote de aplicativos do CMAQ, pela geração das condições de borda de acordo com um arquivo configurado pelo usuário que contém os perfis de concentração dos poluentes desejados.

Para alimentar as condições iniciais e de contorno para a inicialização da modelagem no CMAQ, neste trabalho foi utilizado um perfil de concentrações de poluentes com ordens de grandeza esperadas para a região. As ordens de grandeza foram estimadas com base em concentrações medidas da região, considerando as bases de dados disponibilizadas para acesso da equipe técnica.

6.2.3. Alocação Regional das Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos

A alocação regional é o processo pelo qual o inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos é inserido na base de dados do modelo CMAQ. Ou seja, é a inserção das fontes de poluentes na área de estudo, para que a partir desta inserção sejam calculados os seus respectivos efeitos para a qualidade do ar.

Um dos aspectos mais relevantes envolvendo a geração do arquivo de emissões do CMAQ é o georreferenciamento de cada fonte emissora existente no inventário, em termos da malha computacional a ser modelada. Cada fonte emissora, independente de sua tipologia, deve ser tridimensionalmente alocada na malha, a cada intervalo de tempo modelado, de forma que sua emissão seja acrescentada à célula que contém aquela fonte, no(s) nível(s) de altitude pertinente(s).

As fontes difusas (extensas) são alocadas de acordo com a sua geometria, nas diversas células da malha computacional que as contém. Neste processo de alocação as emissões das fontes difusas são distribuídas com a alocação proporcional das emissões em função da área da fonte sobreposta a cada célula da malha computacional do modelo CMAQ. Assim, é aplicado um fator de proporcionalidade à emissão da fonte em cada célula que ela intercepta, distribuindo adequadamente a emissão no plano bidimensional modelado. A emissão das

fontes difusas também é distribuída nas diferentes camadas verticais, segundo a configuração vertical da fonte emissora.

O principal arquivo de entrada do CMAQ é o arquivo de emissões atmosféricas. Ele contém, para cada espécie do mecanismo químico utilizado, em cada célula tridimensional e cada hora, sua taxa de emissão, que pode ser expressa em termos de mol por segundo, caso a espécie seja um gás ou vapor, ou grama por segundo, caso a espécie seja relativa ao material particulado.

6.2.4. Mecanismo Fotoquímico

Muitas reações químicas na atmosfera são iniciadas pela fotodissociação de gases existentes no ambiente. Tais reações fotodissociativas são responsáveis pela formação de grande parte da poluição existente na atmosfera que impacta a vida de seres humanos, animais, plantas e os materiais de uma forma geral. Com o objetivo de modelar e simular a formação da poluição do ar da maneira mais precisa possível, é necessário um adequado mecanismo para calcular a fotodissociação desses gases na atmosfera.

O CMAQ é um modelo fotoquímico capaz de realizar tais simulações. Para isso o CMAQ utiliza um módulo específico capaz de calcular, para determinadas espécies do mecanismo químico selecionado, a taxa de fotólise a elas aplicável. Essas são calculadas para várias bandas latitudinais, altitudes e ângulos de incidência de luz solar para cada hora do dia. O JPROC é o pré-processador de taxas de fotólise, capaz de gerar valores para cada dia da modelagem. Uma vez calculadas, elas são utilizadas pelo módulo PHOT dentro do modelo CMAQ, que as interpola para cada célula da malha, adequando a incidência naquelas células com eventual cobertura de nuvens, processada pelo WRF (USEPA, 1999).

A fotodissociação é a conversão de radiação solar em energia química para ativação e dissociação das espécies químicas, tais como o NO₂, O₃, HCHO, CH₃CHO, HONO, o radical NO₃ e H₂O₂. A qualidade da simulação de todo o sistema químico da modelagem é altamente dependente da precisão do cálculo das taxas de fotólise, que são as principais razões para formação de radicais na atmosfera na presença dos poluentes primários. A estratégia, portanto, é calcular a taxa de fotólise J de acordo com a Equação 6.1.

$$J_i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) \sigma_i(\lambda) \phi_i(\lambda) d\lambda \quad (6.1)$$

onde:

J_i = taxa de fotólise [min⁻¹];

$F(\lambda)$ = Fluxo actínico [fóton.cm⁻².min⁻¹.nm⁻¹];

$\sigma_i(\lambda)$ = Seção transversal de absorção da molécula sob fotodissociação [cm².molécula⁻¹];

$\phi_i(\lambda)$ = Rendimento quântico da reação fotolítica [molécula.fóton⁻¹];

λ = Comprimento de onda [nm].

A seção transversal de absorção e o rendimento quântico são funções do comprimento de onda, e também podem ser funções da temperatura e da pressão, porém são únicos para cada espécie química. O fluxo actínico é uma quantidade radiométrica que mede a radiância espectral integrada ao longo de todos os ângulos do sólido por unidade de área. Em outras palavras, é a irradiação espectral esférica, que varia segundo a hora do dia, dia do ano,

longitude, latitude, altitude, estação do ano, e é governado pelos relacionamentos astronômico e geométrico entre o Sol e a Terra.

O JPROC é executado para cada hora de modelagem, gerando as taxas de fotólise que serão posteriormente utilizadas pelo núcleo do CMAQ, denominado CCTM (*CMAQ Chemistry Transport Model*).

6.2.5. Processos Químicos e de Transporte do Modelo CMAQ

Os processos de transporte na atmosfera basicamente se referem à advecção e difusão, exceto pela mistura de poluentes ocorridas em nuvens de escala regional. Algoritmos numéricos para o cálculo da advecção e da difusão vertical e horizontal foram desenvolvidos pela comunidade científica com o intuito de simular o transporte de gases e aerossóis na atmosfera, bem como os fenômenos químicos de fotodissociação e reação entre as diversas espécies químicas.

O CCTM (*CMAQ Chemistry Transport Model*) é o módulo do CMAQ responsável por essas tarefas, constituindo-se como o núcleo do modelo. Ele utiliza as informações meteorológicas disponibilizadas pelo MCIP, o arquivo de emissões gerado, as condições iniciais, as condições de borda, as emissões de aerossóis marinhos e as taxas de fotólise para simular o comportamento dos poluentes na atmosfera. O CCTM resolve os seguintes fenômenos de transporte e químicos, que caracterizam a dispersão dos poluentes na atmosfera:

- ❑ Advecção;
- ❑ Difusão horizontal e vertical;
- ❑ Deposição em fase seca e em fase aquosa (nuvens);
- ❑ Dinâmica da dispersão, reações químicas e visibilidade de partículas;
- ❑ Processos de contribuição de nuvens na qualidade do ar;
- ❑ Simulação da fotodissociação e das reações químicas entre as diversas espécies.

Para isso, o CCTM dispõe de diversos módulos internos responsáveis pela simulação numérica da qualidade do ar. São eles:

- ❑ DRIVER: controla o fluxo dos dados e sincroniza os intervalos de tempo de processamento fracionários;
- ❑ HADV: computa os efeitos da advecção horizontal;
- ❑ VADV: computa os efeitos da advecção vertical;
- ❑ ADJCON: ajusta a propriedade de conservação da taxa de mistura dos processos de advecção;
- ❑ HDIFF: computa os efeitos da difusão horizontal;
- ❑ VDIFF: computa os efeitos da difusão vertical e da deposição;
- ❑ CHEM: calcula os efeitos das reações químicas entre as espécies gasosas;
- ❑ CLOUD: simula os efeitos das reações em fase aquosa e a mistura de nuvens;
- ❑ AERO: computa as dinâmicas das partículas e a distribuição granular das mesmas.

O CCTM também é capaz de simular, por exemplo, a formação de ozônio a partir de seus precursores, como o NO, NO₂ e COVs; a dispersão de material particulado com diferentes tamanhos de partículas, bem como sua deposição, tanto em fase seca quanto em fase aquosa; a formação de radicais, sulfatos e nitratos na atmosfera; a formação de chuva ácida em função da presença de seus precursores na atmosfera e das condições meteorológicas, dentre outros.

Com relação a material particulado, o CMAQ é capaz de modelar partículas finas menores que 2,5 µm e partículas grosseiras maiores que 2,5 µm e menores que 10 µm. As partículas na

atmosfera podem ser primárias ou secundárias. As primárias são aquelas emitidas diretamente pelas fontes, as quais podem ser de origem antropogênica (industriais e urbanas) ou natural (fontes biogênicas como polens, fungos e bactérias; e sobre o solo resultando na poeira em suspensão, entre outras). As secundárias são aquelas formadas na atmosfera como resultado de reações químicas, condensação ou pela união de partículas primárias presentes na atmosfera.

As espécies que compõem o material particulado com diâmetro $<10\mu\text{m}$ no arquivo de emissões do CMAQ são:

- ❑ PEC, *Particulate Elemental Carbon*, ou partículas de carbono elementar;
- ❑ POA, *Particulate Organic Carbon*, ou partículas de carbono orgânico;
- ❑ PSO_4 , *Particulate Sulfate*, ou partículas de sulfato;
- ❑ PNO_3 , *Particulate Nitrate*, ou partículas de nitrato;
- ❑ PMFINE, *Particulate Matter Fine*, ou material particulado fino menor que $2,5\mu\text{m}$; e
- ❑ PMC, *Particulate Matter Coarse*, ou material particulado grosso, que se refere às partículas de granularidade maior que $2,5\mu\text{m}$ e menor ou igual a $10\mu\text{m}$;

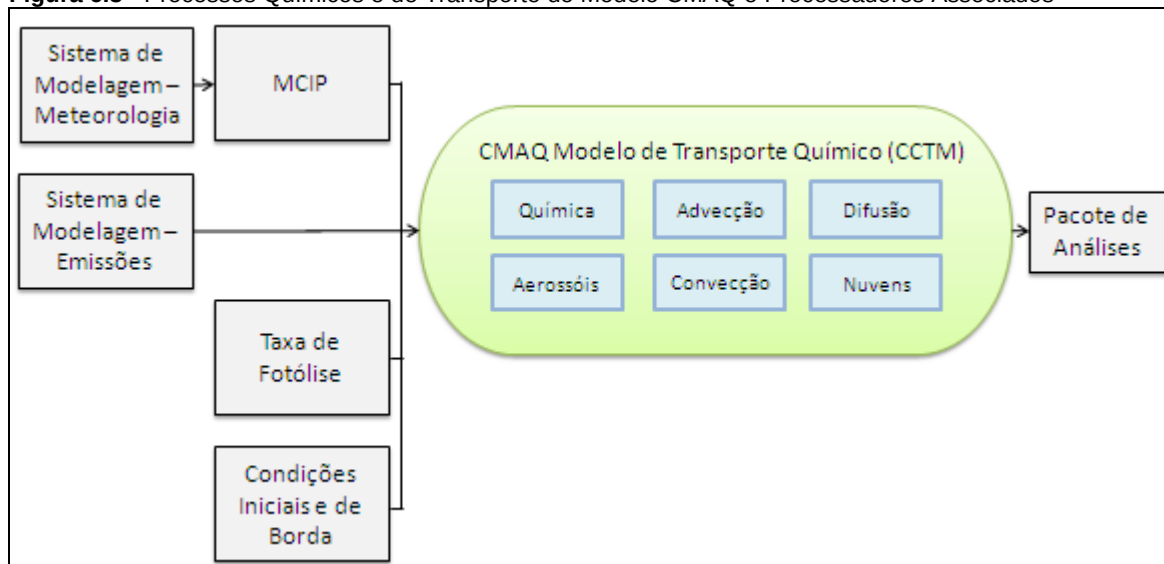
O CMAQ originalmente não é preparado para modelar partículas maiores que $10\mu\text{m}$. Em função disso, a equipe técnica da EcoSoft implementou no módulo que trata dos aerossóis (o AERO) uma melhoria para permitir ao modelo CMAQ simular também a advecção, difusão vertical e horizontal e a deposição em fase seca e aquosa (nuvens) de material particulado maior que $10\mu\text{m}$. Foi criada então uma espécie nova no mecanismo químico CB5 chamada PMSC, que em inglês significa *Particulate Matter Super Coarse*, e essa espécie passou a ser utilizada para representar o material particulado maior que $10\mu\text{m}$, tornando-se uma exclusividade do modelo CMAQ utilizado neste trabalho. A implementação desta espécie seguiu a mesma parametrização já utilizada internamente no modelo CMAQ para partículas entre $2,5\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$. Desse modo, pode-se inferir que o material particulado total é o resultado da soma do material particulado com diâmetro menor do que $10\mu\text{m}$ com o PMSC supracitado.

O CCTM, o núcleo do modelo CMAQ, é o módulo responsável por gerar as saídas da modelagem e gera cinco arquivos, sendo eles:

- ❑ Arquivo de concentrações instantâneas, ou CCTM_CONC, que contém a principal saída do modelo, representando a concentração instantânea de cada espécie em cada célula tridimensional da malha ao final de cada hora de modelagem. Espécies gasosas e aerossóis têm sua concentração representada em ppm e $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente;
- ❑ Arquivo de concentrações médias, ou CCTM_ACONC, que contém a concentração média de cada espécie em cada célula tridimensional para o período de modelagem. As unidades de concentração são as mesmas do arquivo CCTM_CONC;
- ❑ Arquivo de deposição em fase seca, ou CCTM_DRYDEP, que contém, para cada célula da superfície da malha, o fluxo de deposição em fase seca de cada espécie que sofre este processo, seja gás, aerossol ou matéria inerte, sendo que para cada hora o valor é acumulado. Os valores são expressos em kg/hectare.
- ❑ Arquivo de deposição em fase aquosa, ou CCTM_WETDEP, que é semelhante ao arquivo CCTM_DRYDEP, com exceção de que este gera as informações para as espécies que sofrem o processo de deposição em fase aquosa; e
- ❑ Arquivo de medidas de visibilidade de aerossóis, ou CCTM_AEROVIS, que contém dispersão Mie (baseado num mecanismo generalizado de dispersão luminosa de partículas que segue leis de eletromagnetismo aplicadas a material particulado) horário e alcance de visão reconstruído (km^{-1}) e coeficientes de extinção (deciview).

A Figura 6.3 apresenta um diagrama ilustrando a interação entre os diversos conjuntos de dados e aplicativos que são necessários para executar o modelo CMAQ.

Figura 6.3 - Processos Químicos e de Transporte do Modelo CMAQ e Processadores Associados



7. ANÁLISE DOS DADOS DA QUALIDADE DO AR

Este capítulo apresenta uma breve descrição das estações de monitoramento existentes na região de Conceição do Mato Dentro – MG, sob responsabilidade da Anglo American. Existem atualmente 6 estações manuais de monitoramento da qualidade do ar, as quais estão alocadas na Comunidade Sapo (São Sebastião do Bom Sucesso), Comunidade Água Quente, Fazenda Cornélia, Comunidade Beco, Comunidade Córregos e Aeroporto CMD.

A Tabela 7.1 apresenta a configuração das atuais estações de monitoramento da Anglo American, com suas localizações geográficas, assim como o período de dados disponíveis analisados, indicando as estações de medição e os parâmetros de qualidade do ar monitorados em cada uma das estações.

Tabela 7.1 – Configuração das Atuais Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar

Estação	Latitude [°]	Longitude [°]	Parâmetro Monitorado	Período	Analizador Utilizado
Sapo	-18,924317	-43,399461	PTS	06/01/11 a 26/04/14	BGI – PQ100 Air Sampler
			PM ₁₀	22/09/13 a 25/04/14	
Água Quente	-18,859300	-43,372215	PTS	06/01/11 a 26/04/14	BGI – PQ100 Air Sampler
			PM ₁₀	09/10/13 a 25/04/14	
Fazenda Cornélia	-18,872162	-43,383167	PTS	12/01/11 a 26/04/14	BGI – PQ100 Air Sampler
			PM ₁₀	09/10/13 a 25/04/14	
Beco	-18,881818	-43,368420	PTS	10/10/13 a 26/04/14	Airmetrics – MiniVol TAS
			PM ₁₀	06/01/11 a 25/04/14	
Córregos	-18,885447	-43,501148	PTS	07/05/13 a 26/04/14	BGI – PQ100 Air Sampler
			PM ₁₀	09/10/13 a 25/04/14	
Aeroporto CMD	-19,020473	-43,433919	PTS	19/09/13 a 26/04/14	BGI – PQ100 Air Sampler
			PM ₁₀	22/09/13 a 25/04/14	

Legenda:

PTS – partículas totais em suspensão;
PM₁₀ – material particulado menor que 10 µm.

As estações utilizam amostradores de monitoramento manual, sendo que as amostragens em todos os pontos são semanais com duração de 24 horas e são programadas de forma a evitar a coincidência do dia da semana da amostragem atual com o dia da semana de realização da amostragem anterior.

Da forma como conduzido o monitoramento atual, os mesmos analisadores são utilizados para o monitoramento das concentrações de PTS e PM₁₀. Para possibilitar o monitoramento dessa forma, em um mesmo dia são feitas as amostragens de um mesmo parâmetro em todos os seis pontos e, no dia seguinte, as do outro parâmetro.

O monitoramento atualmente desenvolvido não possibilita a geração de medições síncronas de concentrações de PTS e PM₁₀, o que dificulta o estabelecimento da relação existente entre estes dois parâmetros.

O monitoramento executado permite a obtenção de 4 médias diárias por mês em cada ponto de monitoramento. Os valores de concentrações são obtidos com frequência semanal, o que dificulta o estabelecimento da relação causa-efeito, emissões e alteração da qualidade do ar, devido à baixa frequência de monitoramento, incompatível com a dinâmica das fontes emissoras que podem ter sua emissão variável em curto período de tempo (escala de minutos).

Todo o procedimento de monitoramento é manual, conforme as normas ABNT 9.547 (PTS) e ABNT 13.412 (PM₁₀). Embora normatizado, o procedimento manual preconizado é sujeito a interferências e incertezas do processo de medição, inclusive majoradas em função da intervenção humana nos procedimentos. De uma forma geral, os procedimentos manuais de determinação de concentrações de poluentes na atmosfera são sujeitos a maiores incertezas do que os métodos automáticos.

A Figura 7.1 apresenta a localização das estações de monitoramento da Anglo American, na região de estudo de Conceição do Mato Dentro. A Figura 7.2 apresenta a vista atual de cada uma das estações.

Figura 7.1 – Localização das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar da Anglo American

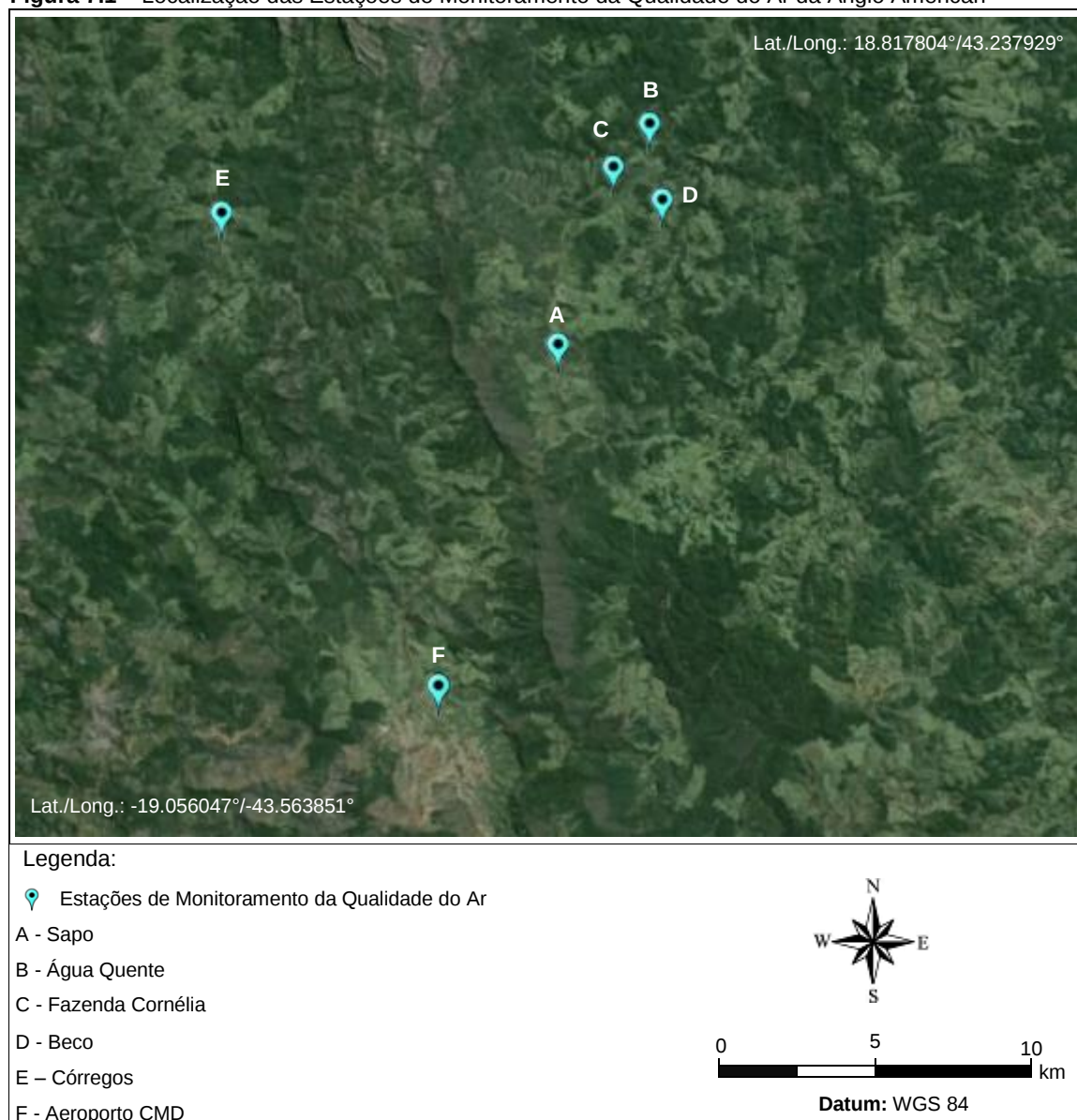


Figura 7.2 – Vista das Estações de Monitoramento de Qualidade do Ar da Empresa Anglo American



1 - Estação Comunidade Sapo



2 - Estação Comunidade Água Quente



3 - Estação Fazenda Cornélia



4 - Estação Comunidade Beco



5 - Estação Comunidade Córregos



6 - Estação Aeroporto CMD

Fonte: Anglo American (2014)

Nas seções 7.1 e 7.2 são apresentadas análises referentes aos dados históricos de monitoramento obtidos pelas atuais estações da Anglo American.

7.1. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)

A Tabela 7.2 apresenta o número de registros válidos de PTS em cada estação de monitoramento. Em geral, a frequência de monitoramento com o uso de equipamentos com tecnologia manual é de 6 em 6 dias.

Tabela 7.2 – Número de Registros Válidos em Cada Estação de Monitoramento

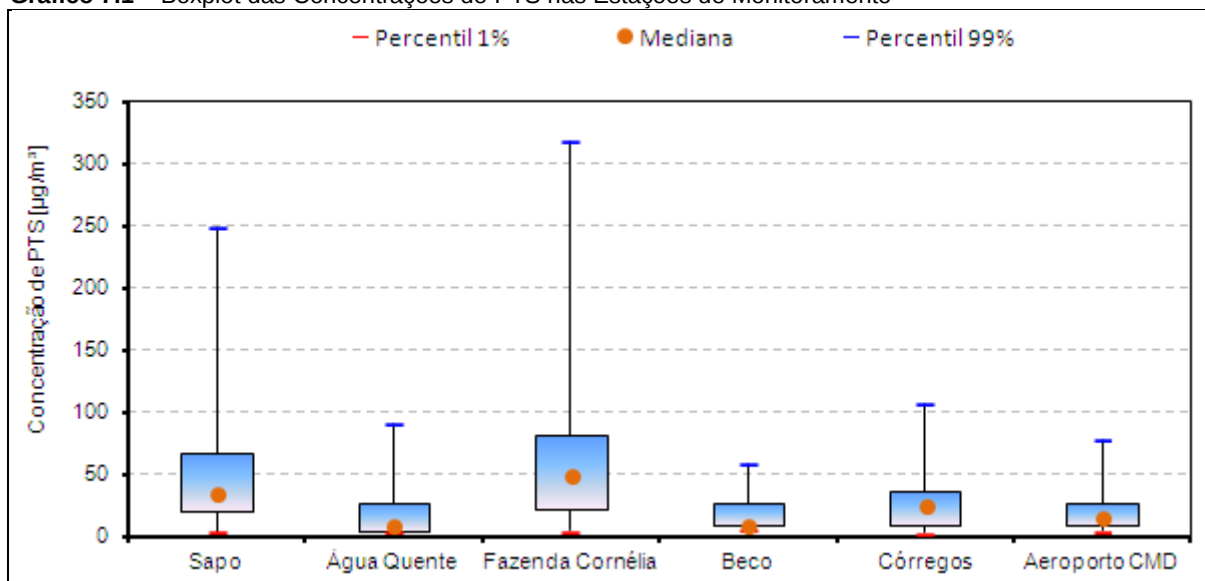
Ano	Estação					
	Sapo	Água Quente	Fazenda Cornélia	Beco	Córregos	Aeroporto CMD
2011	55	55	50	Ausência de dados		
2012	54	52	54			
2013	60	30	56	14	36	16
2014	20	20	20	20	20	20

Nota:

- a. As células em cinza representam uma disponibilidade de dados inferior a 75% (considerando o ano com 52 semanas)

O Gráfico 7.1 apresenta o *boxplot* das concentrações de PTS monitoradas em cada estação.

Gráfico 7.1 – Boxplot das Concentrações de PTS nas Estações de Monitoramento



A Tabela 7.3 apresenta uma análise estatística do percentil, máximo e mínimo das concentrações diárias de PTS em cada estação de monitoramento.

Tabela 7.3 – Análise de Percentil, Máximo e Mínimo das Concentrações de 24h de PTS

Estação de Monitoramento	PQAr [µg/m³]	Máximo [µg/m³]	Média [µg/m³]	Percentil [µg/m³]									Mínimo [µg/m³]
				99%	98%	95%	90%	85%	80%	75%	50%	25%	
Sapo	240	318	55	250	229	170	126	97	85	67	35	21	1
Água Quente		150	18	90	80	57	43	34	31	27	9	4	4
Fazenda Cornélia		380	65	318	280	179	140	115	94	82	49	22	3
Beco		62	19	59	56	47	42	35	30	27	9	9	4
Córregos		113	27	107	100	76	47	44	41	37	26	9	1
Aeroporto CMD		85	22	77	69	53	49	39	35	27	16	9	4

A Tabela 7.4 apresenta a média geométrica anual das concentrações de PTS em cada estação de monitoramento.

Tabela 7.4 – Média Geométrica Anual de PTS em Cada Estação de Monitoramento

Ano	Concentração de PTS em cada estação [µg/m³]					
	Sapo	Água Quente	Fazenda Cornélia	Beco	Córregos	Aeroporto CMD
2011	74	11	69	Ausência de dados		
2012	27	7	44			
2013	31	28	34	13	18	15
2014	15	11	18	17	18	16

Nota:

- As células em cinza representam uma disponibilidade de dados inferior a 75% (considerando o ano com 52 semanas)

Do Gráfico 7.2 ao Gráfico 7.7 são apresentadas as concentrações de PTS referentes às estações Sapo, Água Quente, Fazenda Cornélia, Beco, Córregos e Aeroporto CMD. A linha horizontal vermelha representa o padrão primário de qualidade do ar.

Gráfico 7.2 – Concentração de PTS – Médias de 24 Horas – Estação Sapo – Período de 06/01/11 a 26/04/14

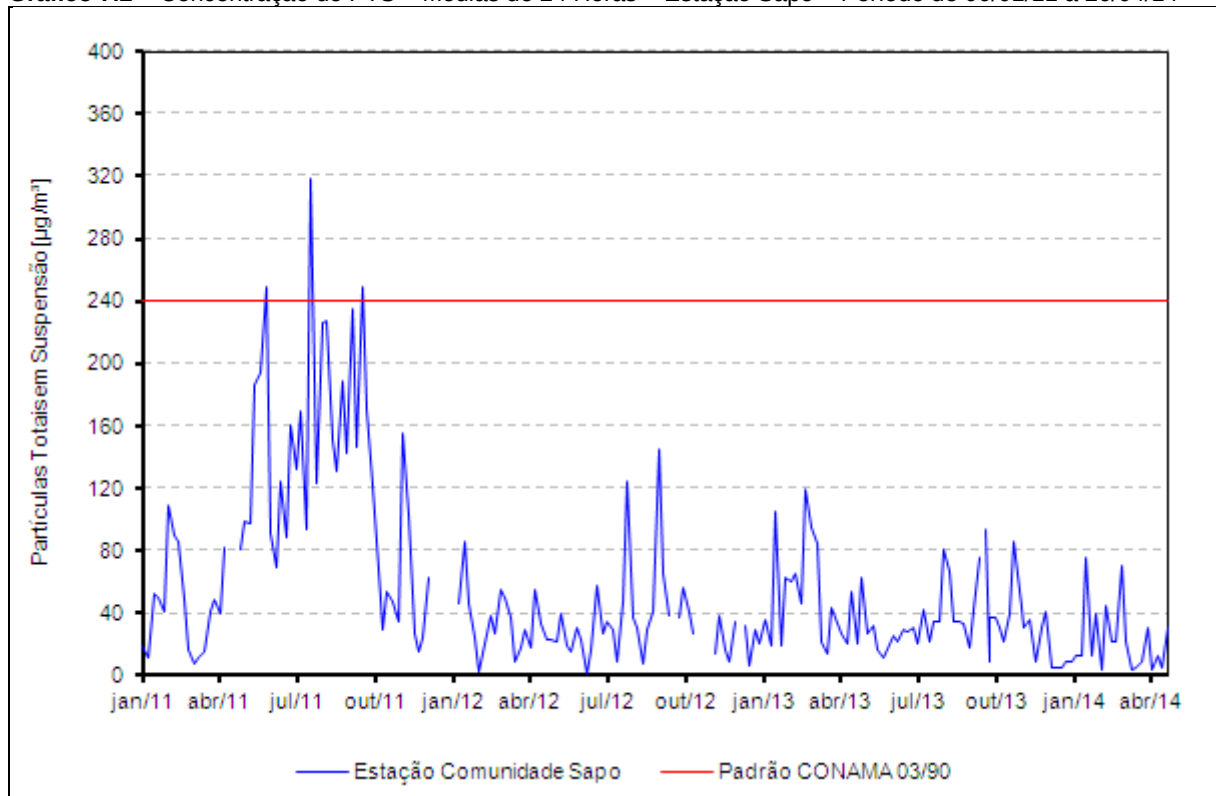


Gráfico 7.3 – Concentração de PTS – Médias de 24 Horas – Estação Água Quente – Período de 06/01/11 a 26/04/14

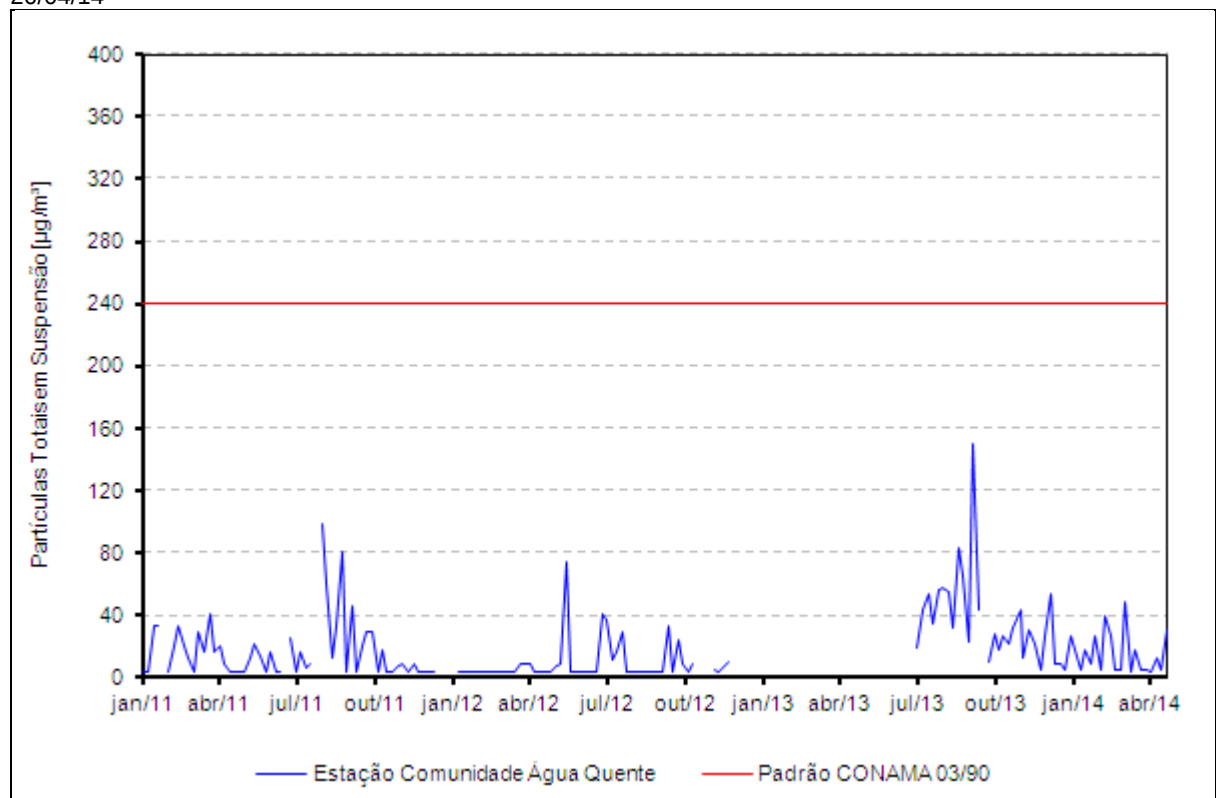


Gráfico 7.4 – Concentração de PTS – Médias de 24 Horas – Estação Fazenda Cornélia – Período de 12/01/11 a 26/04/14

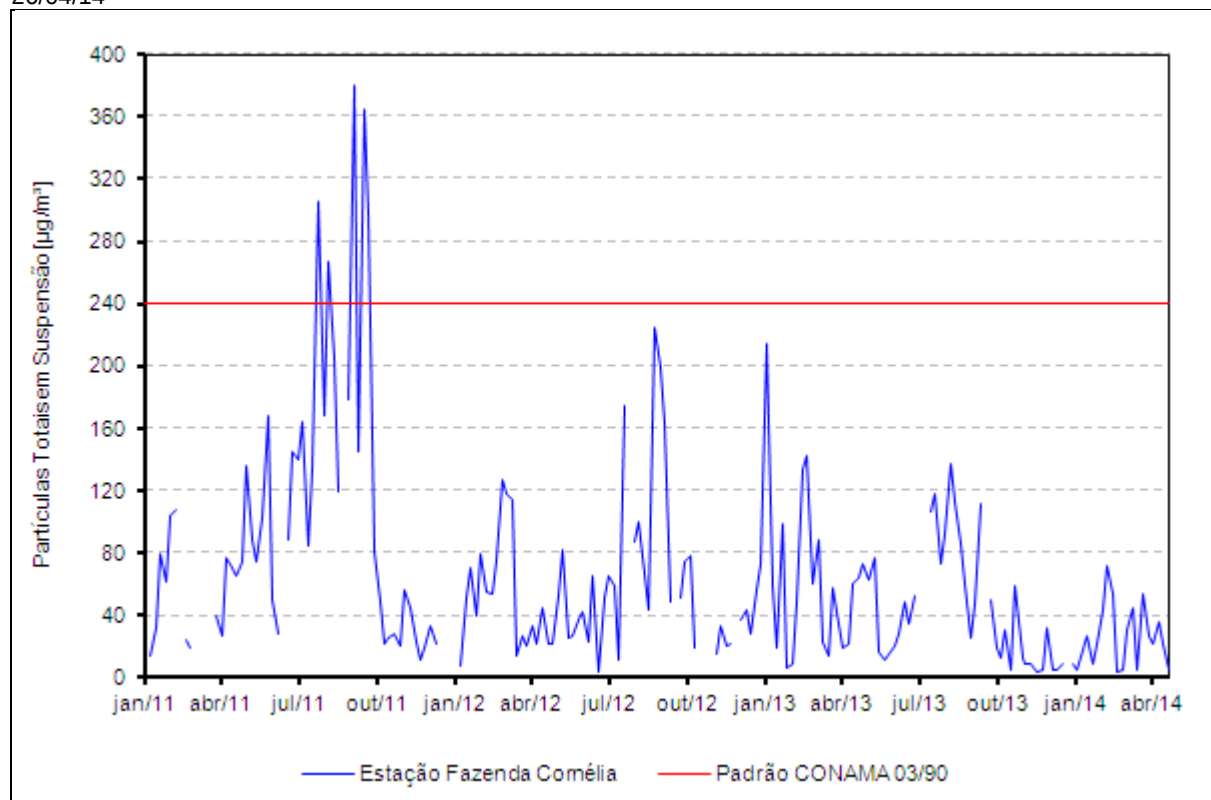


Gráfico 7.5 – Concentração de PTS – Médias de 24 Horas – Estação Beco – Período de 10/10/13 a 26/04/14

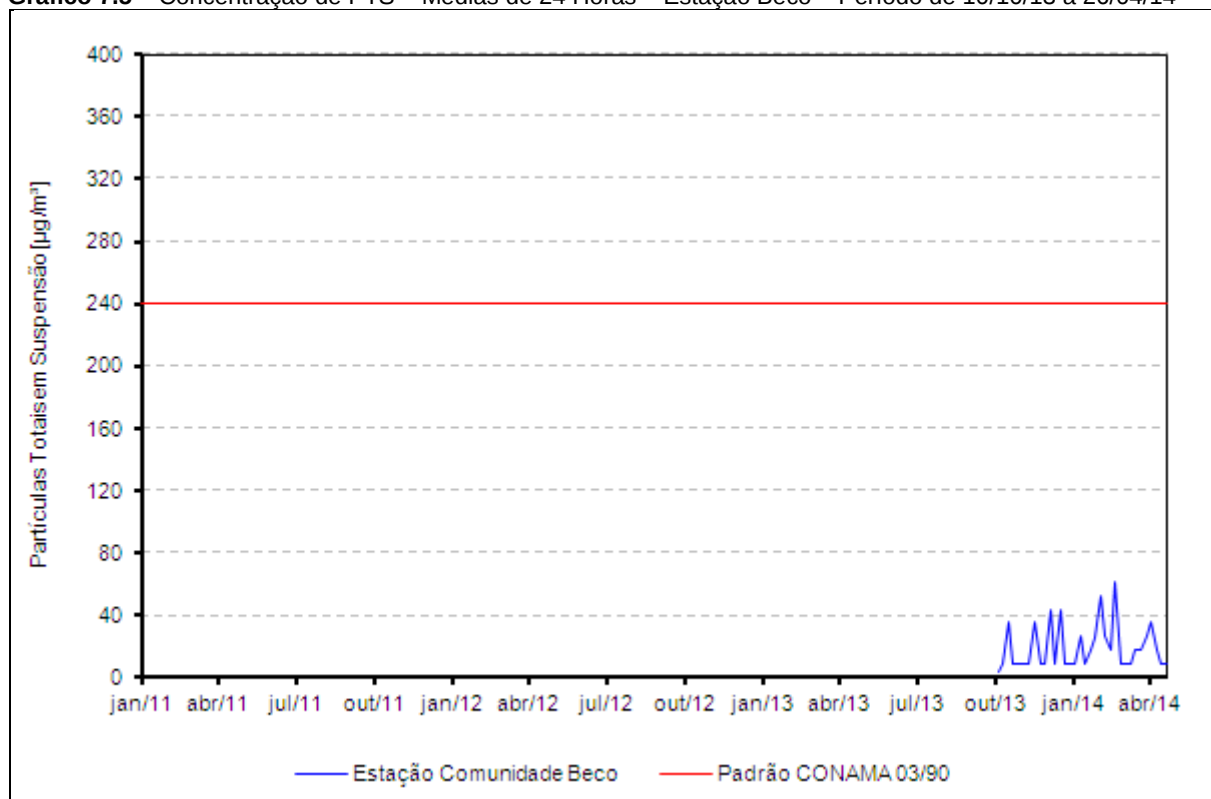


Gráfico 7.6 – Concentração de PTS – Médias de 24 Horas – Estação Córregos – Período de 07/05/13 a 26/04/14

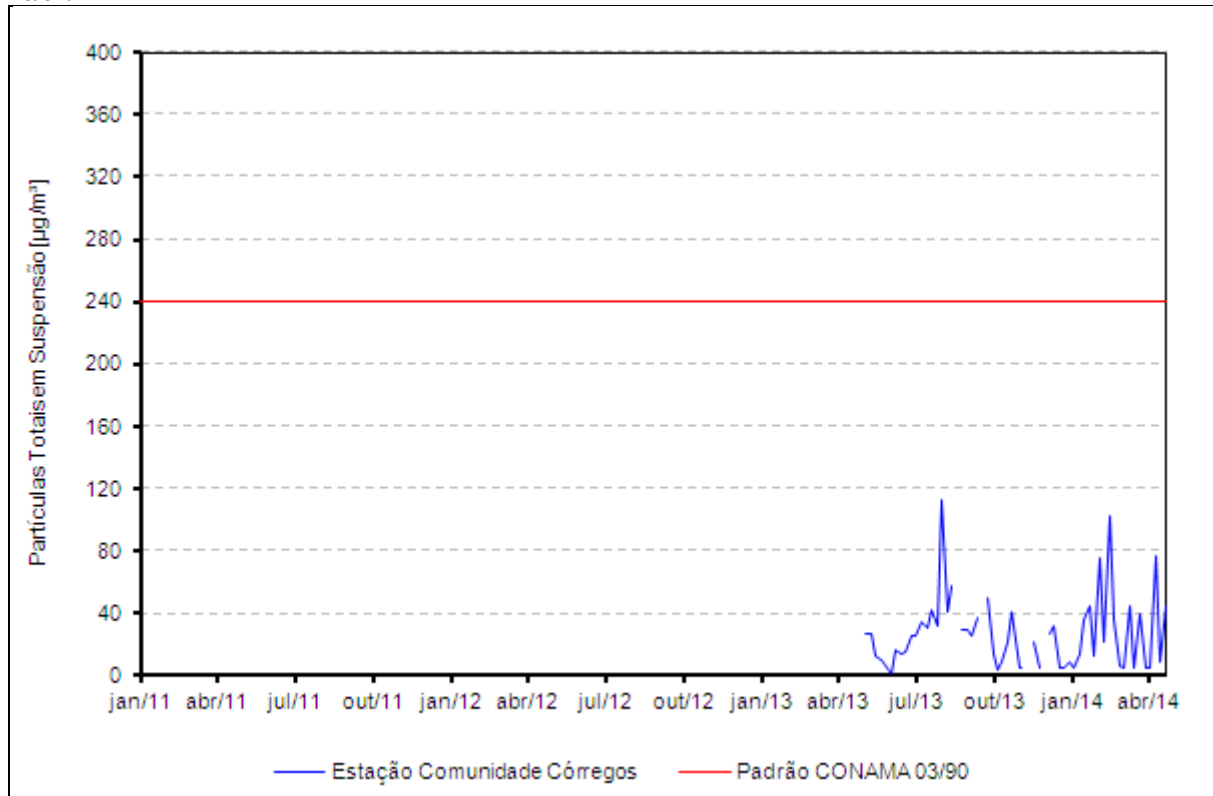
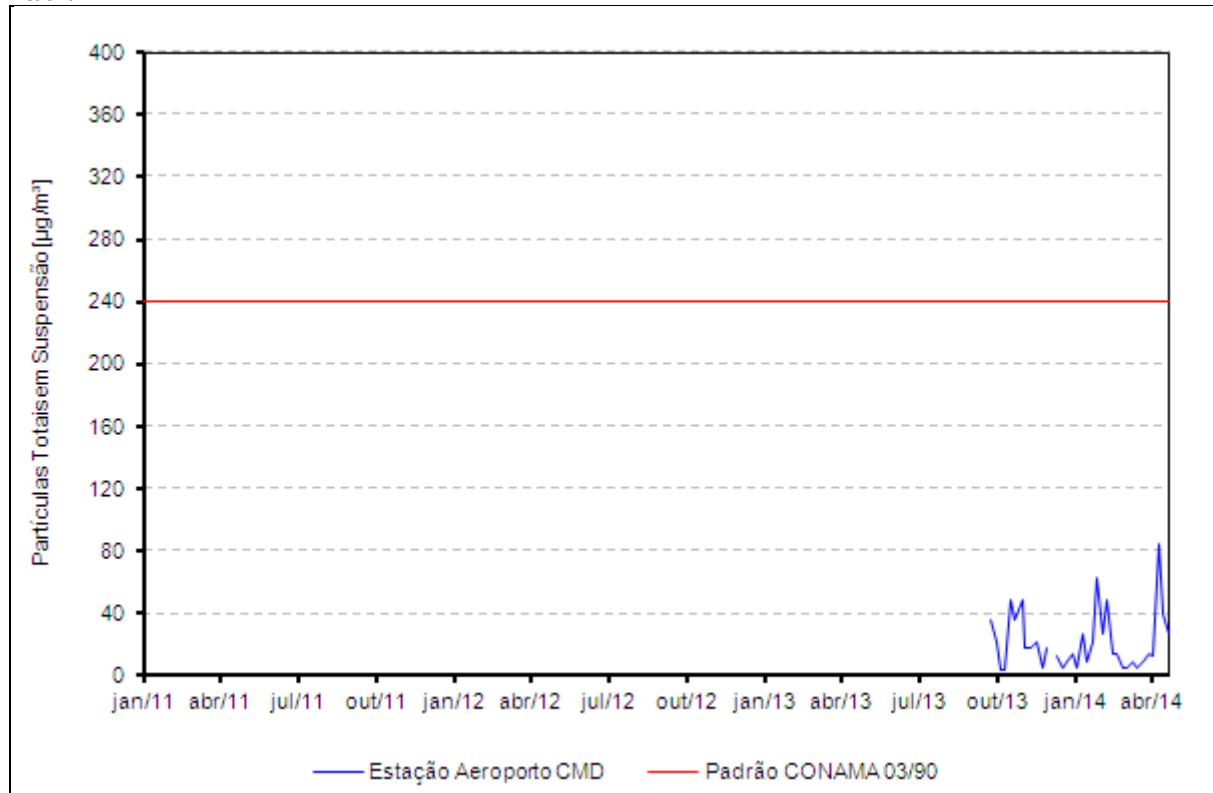


Gráfico 7.7 – Concentração de PTS – Médias de 24 Horas – Estação Aeroporto CMD – Período de 19/09/13 a 26/04/14



Nos Gráficos 7.2 e 7.4, referentes às estações Sapo e Fazenda Cornélia, respectivamente, observa-se que no ano de 2011 algumas concentrações de PTS apresentaram-se acima do padrão primário estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990. Tais picos, por serem pontuais, podem ter sido ocasionados por eventos específicos ou alguma interferência no monitoramento.

7.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR QUE 10 μm (PM_{10})

As Tabelas 7.5 e 7.6 apresentam, respectivamente, o número de registros válidos de PM_{10} e a média aritmética de cada ano nas estações de monitoramento.

Tabela 7.5 – Número de Registros Válidos em Cada Estação de Monitoramento

Ano	Estação					
	Sapo	Água Quente	Fazenda Cornélia	Beco	Córregos	Aeroporto CMD
2011	Ausência de dados			57	Ausência de dados	
2012				56		
2013	17	14	14	61	14	17
2014	20	19	19	19	20	20

Nota:

- a. As células em cinza representam uma disponibilidade de dados inferior a 75% (considerando o ano com 52 semanas)

Tabela 7.6 – Média Aritmética Anual de PM_{10} em Cada Estação de Monitoramento

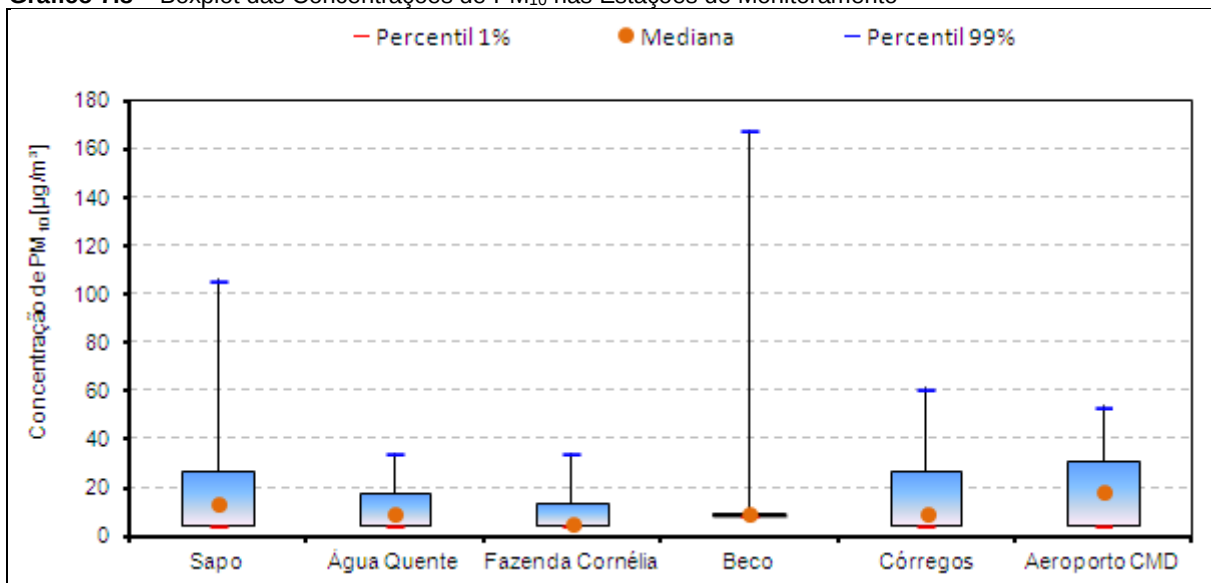
Ano	Concentração de PM_{10} em cada estação [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					
	Sapo	Água Quente	Fazenda Cornélia	Beco	Córregos	Aeroporto CMD
2011	Ausência de dados			19	Ausência de dados	
2012				19		
2013	24	12	8	16	18	20
2014	21	13	13	28	20	21

Nota:

- a. As células em cinza representam uma disponibilidade de dados inferior a 75% (considerando o ano com 52 semanas)

O Gráfico 7.8 apresenta o boxplot das concentrações de PM_{10} monitoradas em cada estação.

Gráfico 7.8 – Boxplot das Concentrações de PM₁₀ nas Estações de Monitoramento



A Tabela 7.7 apresenta uma análise estatística do percentil, máximo e mínimo das concentrações diárias de PM₁₀ nas seis estações de monitoramento.

Tabela 7.7– Análise de Percentil, Máximo e Mínimo das Concentrações de 24h de PM₁₀

Estação de Monitoramento	PQAr [µg/m³]	Máximo [µg/m³]	Média [µg/m³]	Percentil [µg/m³]									Mínimo [µg/m³]
				99%	98%	95%	90%	85%	80%	75%	50%	25%	
Sapo	150	111	22	106	101	66	48	43	38	27	13	5	4
Água Quente		36	13	34	33	31	31	28	22	18	9	5	4
Fazenda Cornélia		36	11	34	33	29	27	23	20	13	5	5	4
Beco		239	19	168	108	65	35	27	18	9	9	9	4
Córregos		63	19	61	60	56	49	36	31	27	9	5	4
Aeroporto CMD		59	20	54	49	45	42	36	32	31	18	5	4

Os Gráficos 7.9 a 7.14 apresentam, respectivamente, as concentrações de PM₁₀ para as médias de 24 horas referentes às estações Comunidade Sapo, Comunidade Água Quente, Comunidade Fazenda Cornélia, Comunidade Beco, Comunidade Córregos e Aeroporto CMD. A linha horizontal vermelha refere-se ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990.

Gráfico 7.9 – Concentração de PM₁₀ – Médias de 24 Horas – Estação Sapo – Período de 22/09/13 a 25/04/14

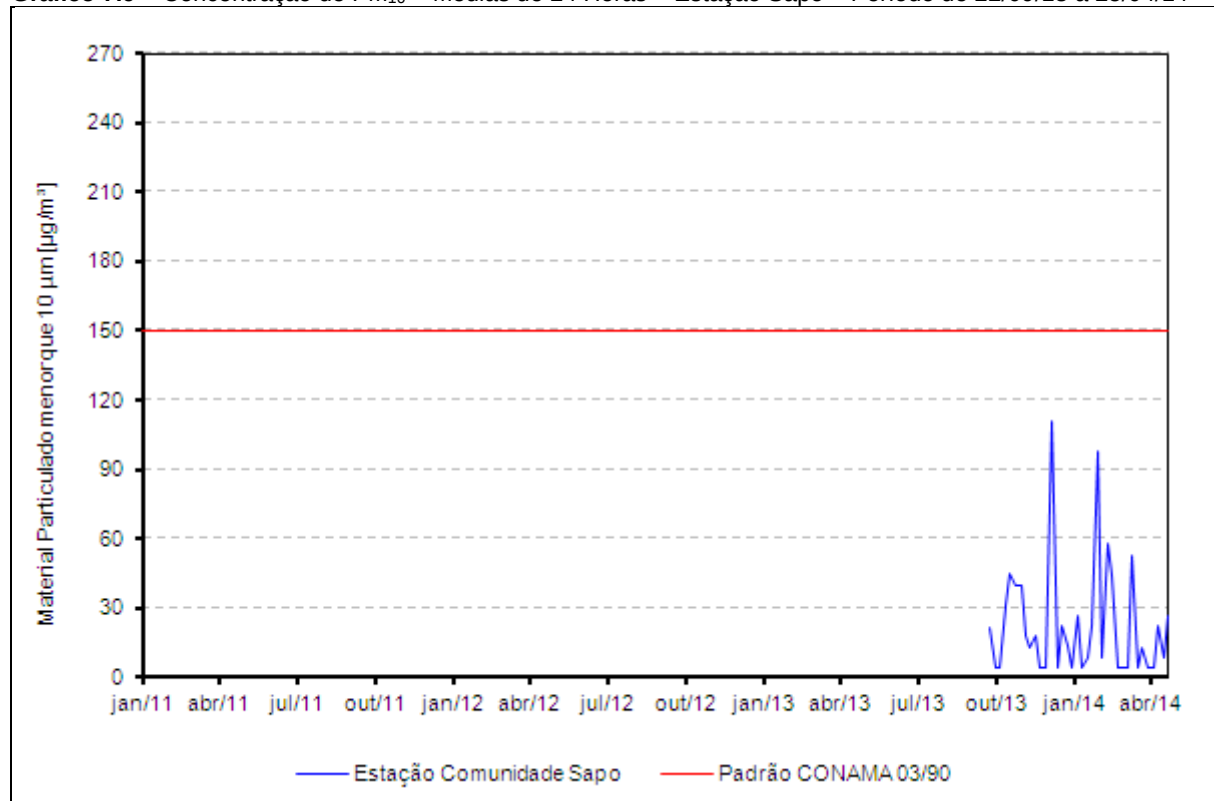


Gráfico 7.10 – Concentração de PM₁₀ – Médias de 24 Horas – Estação Água Quente – Período de 09/10/13 A 25/04/14

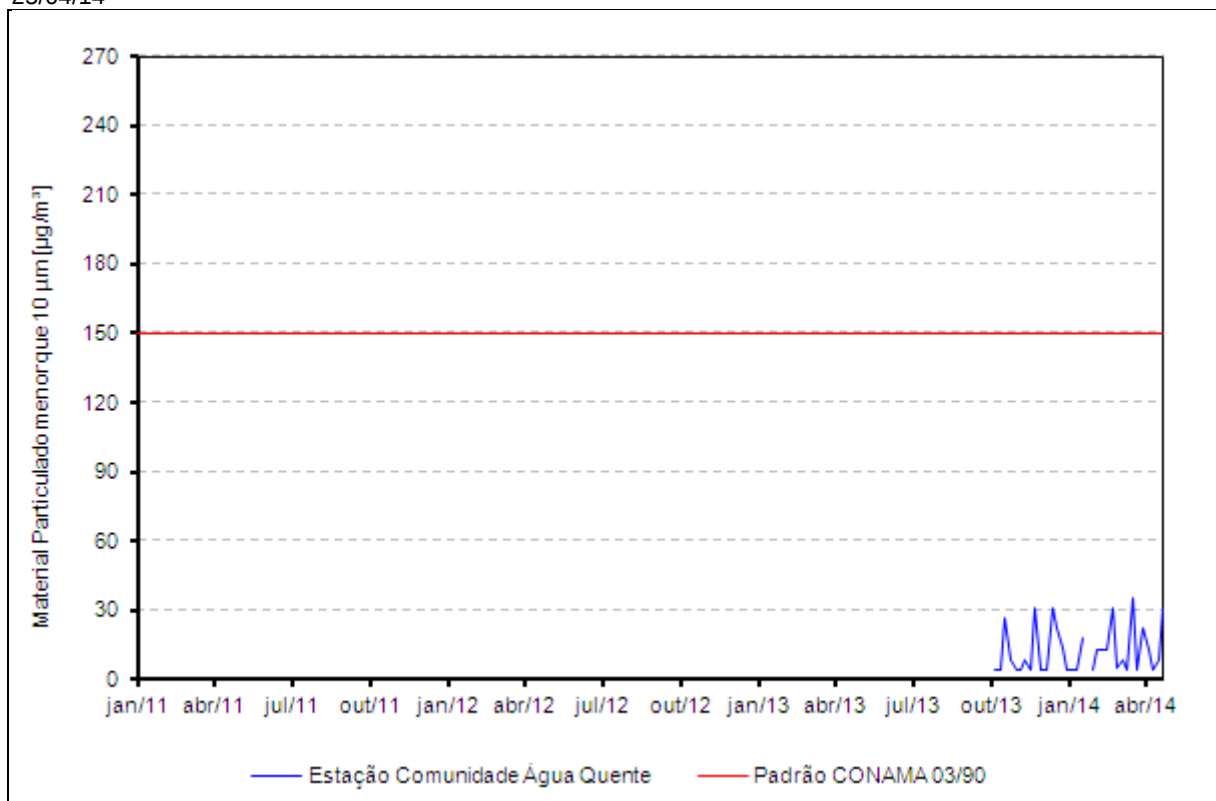


Gráfico 7.11 – Concentração de PM_{10} – Médias de 24 Horas – Estação Fazenda Cornélia – Período de 09/10/13 a 25/04/14

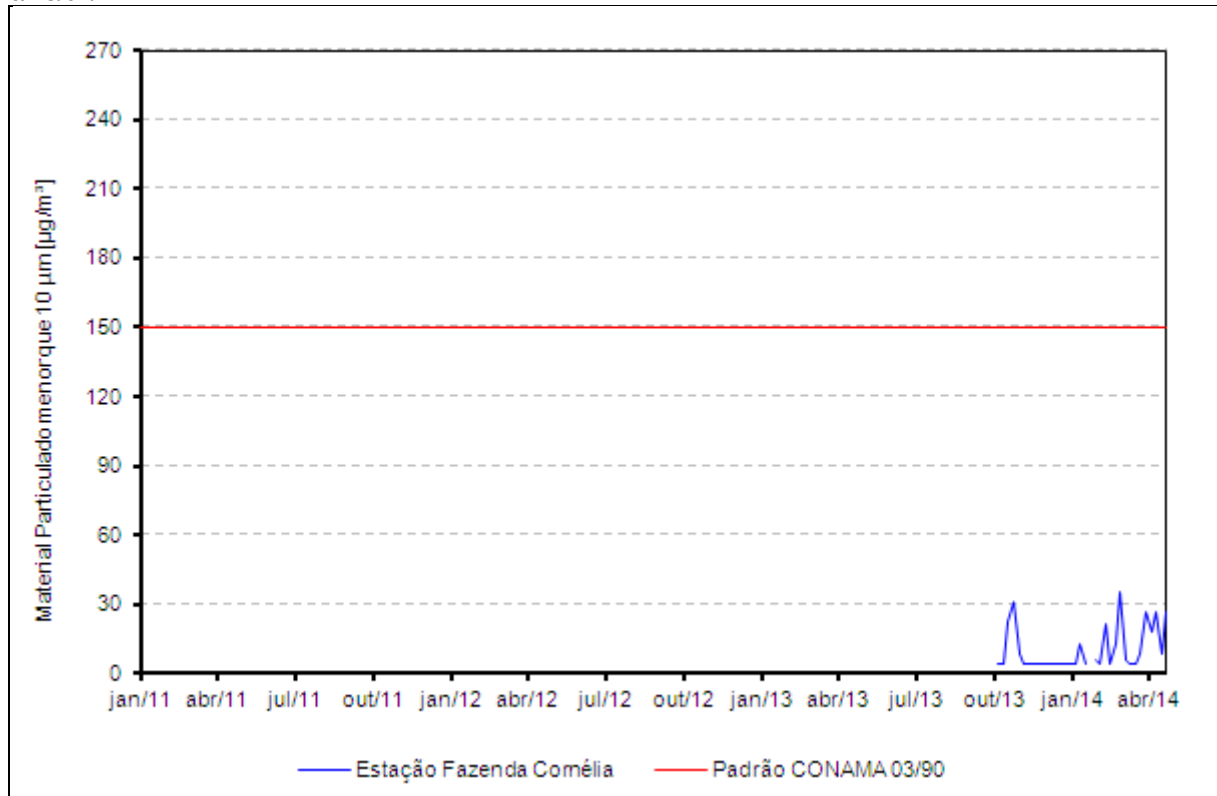


Gráfico 7.12 – Concentração de PM_{10} – Médias de 24 Horas – Estação Comunidade Beco – período de 06/11/11 a 25/04/14

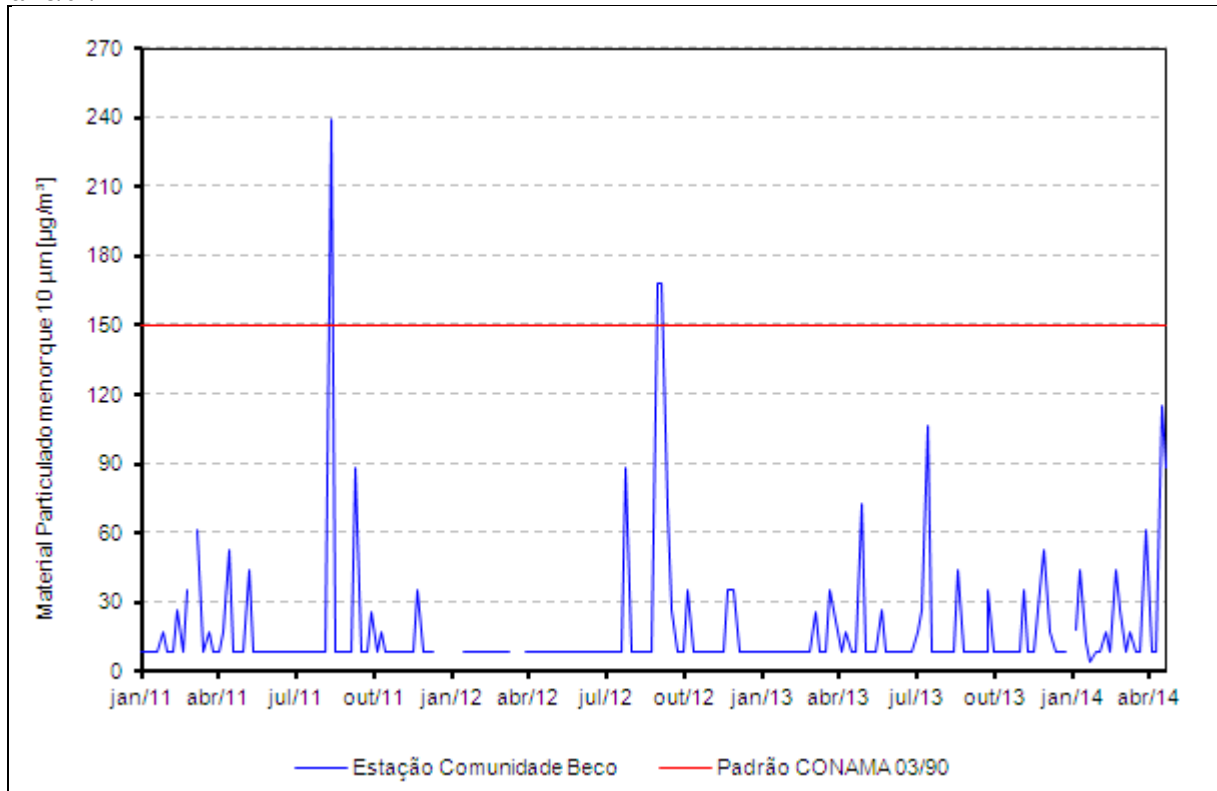


Gráfico 7.13 – Concentração de PM₁₀ – Médias de 24 Horas – Estação Córregos – Período de 09/10/13 a 25/04/14

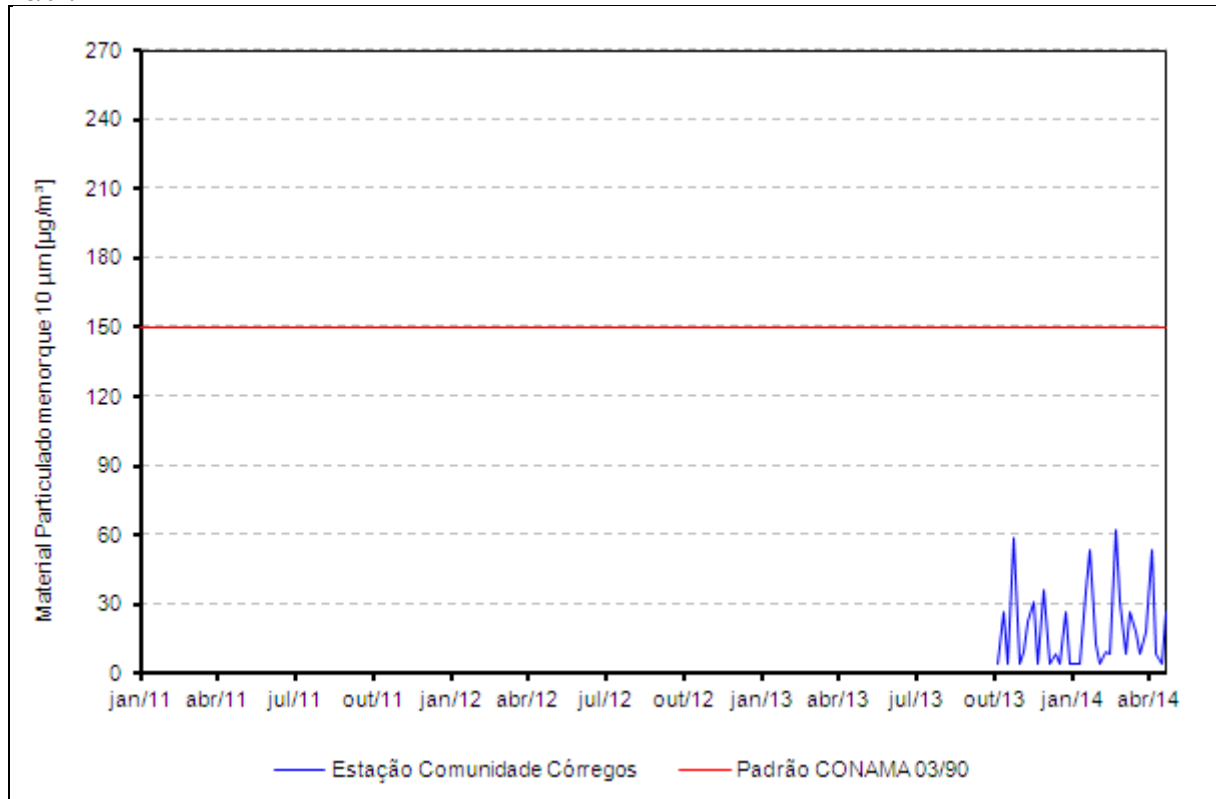
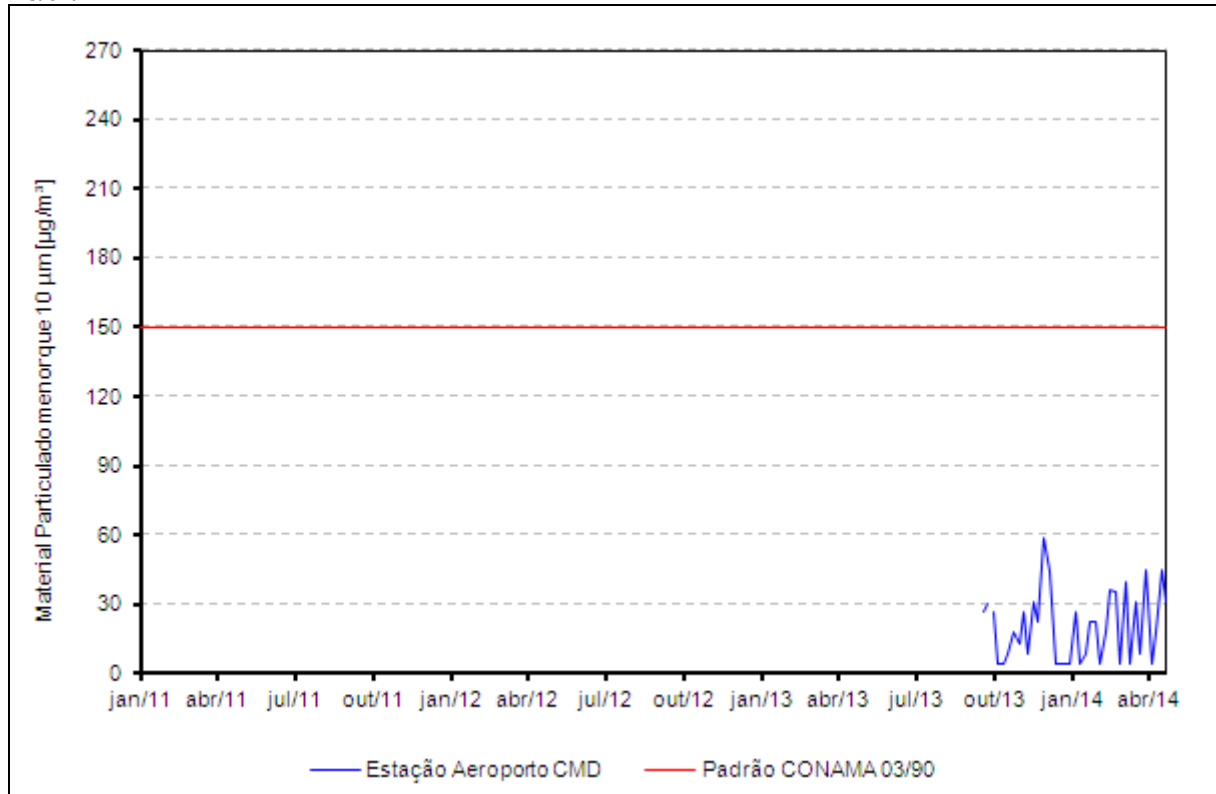


Gráfico 7.14 – Concentração de PM₁₀ – Médias de 24 Horas – Estação Aeroporto CMD – Período de 22/09/13 a 25/04/14



No Gráfico 7.12, referente à Estação Comunidade Beco, observa-se alguns picos de concentrações de PM_{10} nos anos de 2011 e 2012, os quais ultrapassam o padrão primário estabelecido pela Resolução CONAMA 03/1990. Eventos específicos ou alguma interferência no monitoramento podem ter ocasionado tais extremos.

7.3. CONCENTRAÇÕES ATUAIS DE PARTÍCULAS NA ÁREA DE ESTUDO

A modelagem da dispersão de poluentes com o modelo CMAQ, por definição, provê o cálculo dos incrementos de concentrações dos poluentes na área de estudo, que são obtidos em função do inventário de fontes emissoras considerado.

A abordagem metodológica utilizada neste estudo considerou a aplicação do modelo CMAQ com base no inventário de emissões atmosféricas da área de estudo. Dessa forma, os cenários modelados gerados pelo CMAQ são entendidos como os potenciais acréscimos de concentrações na atmosfera da área de estudo causados pelas fontes inventariadas.

Sob o ponto de vista da avaliação da qualidade do ar, faz-se ainda necessário caracterizar as condições da atmosfera sem a influência das fontes emissoras consideradas, ou seja, definir os níveis atuais de partículas (*baseline*) da área de estudo sem a influência das fontes modeladas.

Considerando a limitação do modelo CMAQ em representar as concentrações de PTS, PM_{10} e $PM_{2.5}$, identificada neste estudo as concentrações representativas das áreas isentas da influência proporcionada pelas emissões atmosféricas inventariadas foram adicionadas aos valores modelados para possibilitar uma representação mais realista.

Esta análise quantitativa das concentrações de partículas foi desenvolvida com base na análise das atuais concentrações de partículas medidas na área de estudo. Como referência foram consideradas as concentrações médias de PTS e PM_{10} medidos na Estação Água Quente, respectivamente, $18 \mu g/m^3$ e $12 \mu g/m^3$.

A estação Água Quente está posicionada em local geralmente isento da influência advinda do grupo de fontes emissoras considerado no inventário de emissões atmosféricas, devido ao vento proveniente de leste, predominante na região.

As concentrações de $PM_{2.5}$ não são medidas na área de estudo. O *baseline* de $PM_{2.5}$ foi estimado em 39% do PTS, equivalendo a $7 \mu g/m^3$. O valor de 39% da relação $PM_{2.5} / PTS$ considerou valores médios de concentrações medidas em estações automáticas de qualidade do ar em localidades com condições similares à da área estudada.

8. RESULTADOS DA MODELAGEM ATMOSFÉRICA

Neste capítulo são apresentadas as análises da influência na qualidade do ar decorrente das emissões atmosféricas inventariadas em Conceição do Mato Dentro. Estas análises foram realizadas conforme a interpretação dos resultados da modelagem atmosférica com a aplicação do modelo CMAQ.

O inventário de emissões atmosféricas apresentado no capítulo 5 identifica e localiza as fontes emissoras, qualifica e quantifica os poluentes emitidos, bem como registra as formas de disposição destes na atmosfera. Entretanto, o inventário, por si só, não possibilita o conhecimento das áreas de influência dessas emissões, ou seja, dos efeitos que essas emissões causam na qualidade do ar da área de estudo.

É importante destacar que as quantidades de poluentes emitidas, isoladamente, não são diretamente proporcionais à magnitude dos impactos produzidos na qualidade do ar da área de estudo. É notório que fontes emissoras de maior porte (que emitem grandes quantidades de poluentes) são potencialmente mais danosas que as fontes de menor porte. Todavia, dependendo da forma como os poluentes são emitidos para a atmosfera, da posição da fonte em relação ao receptor de interesse e das condições meteorológicas, em alguns casos, fontes emissoras de menor porte podem causar impactos maiores para determinadas localidades do que fontes de grande porte.

Para exemplificar, uma fonte de pequeno porte localizada próxima e a barlavento de um dado receptor pode, em determinado momento, produzir mais impactos na qualidade do ar que outras fontes de maior porte emissor, localizadas mais distantes e a sotavento deste receptor. Dessa forma, a análise dos efeitos das fontes depende do conhecimento de outros fatores relevantes para descrever a dinâmica atmosférica, que vão muito além das quantidades de poluentes emitidas.

Para o completo entendimento da influência das emissões atmosféricas na qualidade do ar, são necessárias complementações das informações das fontes por meio do estudo da dispersão dos poluentes lançados na atmosfera. Os níveis dos poluentes na atmosfera da área de estudo são o resultado das quantidades de poluentes lançadas, sua localização e forma de disposição, das condições meteorológicas e da interação com o terreno.

Neste estudo, para o entendimento dos níveis de poluentes da atmosfera, foram aplicados modelos avançados de dinâmica atmosférica, incluindo o WRF, para estudo das condições meteorológicas de superfície e altitude e o CMAQ, para a modelagem de qualidade do ar.

A aplicação dos modelos WRF e CMAQ possibilitou a representação da atmosfera da área de estudo de uma forma realista e abrangente (não atingida com aplicação de modelos analíticos como o AERMOD e o CALPUFF), permitindo ainda a análise de efeitos atmosféricos relativos a poluentes secundários, tais como o ozônio e as partículas finas (sulfatos, nitratos, etc.).

Na modelagem CMAQ foram gerados cenários de qualidade do ar, utilizando como base o inventário de emissões atmosféricas de CMD, para o ano base de 2013, totalizando cerca de 8.760 cenários de concentrações médias horárias para cada um dos poluentes considerados no estudo (PTS, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO_x, NO₂, CO, O₃ e COV).

Os tempos de média utilizados para cada poluente correspondem aos estabelecidos pelos respectivos padrões de qualidade do ar normatizados pela Resolução CONAMA nº 03/1990, a exceção dos poluentes PM_{2,5} e COV, não previstos na Resolução citada. Desta forma foram analisados:

- ❑ PTS e PM₁₀: concentrações médias de 24 horas e média anual;
- ❑ PM_{2.5}: concentrações médias de 24 horas e média anual. A Resolução CONAMA 03/1990 não prevê padrões de qualidade do ar para PM_{2.5}. Desta maneira, optou-se pelo uso de padrões de outros estados para este poluente para efeitos de comparação;
- ❑ SO₂: concentrações médias de 24 horas e média anual;
- ❑ NO_x: concentrações médias de 1 hora e média anual (com referência aos padrões de qualidade do ar aplicáveis ao NO₂);
- ❑ NO₂: concentrações médias de 1 hora e média anual;
- ❑ CO: concentrações médias de 1 hora e médias de 8 horas;
- ❑ O₃: concentrações médias de 1 hora;
- ❑ COV: concentrações médias de 1 hora e médias anuais. A Resolução CONAMA 03/1990 não prevê padrões de qualidade do ar para os compostos orgânicos voláteis.

Os resultados de concentrações de poluentes calculados com o CMAQ foram gerados para suprimimento das lacunas de informação acerca da atual qualidade do ar na área de estudo e, de acordo com metodologia proposta, foram utilizados para a alimentação do algoritmo de dimensionamento da RAMQAM-CMD.

As concentrações apresentadas neste capítulo dizem respeito aos resultados das simulações computacionais com aplicação do CMAQ e, portanto, representam as magnitudes das concentrações de poluentes atmosféricos na área de estudo e não números absolutos. Desta forma, tais resultados não devem ser cabalmente utilizados para a avaliação do enquadramento legal da qualidade do ar da área de estudo. A comparação inequívoca com os padrões de qualidade do ar deve ser alvo de análises específicas, utilizando dados gerados por equipamentos e metodologias homologadas para tal, o que futuramente será obtido pela RAMQAM-CMD, cujo dimensionamento é o fim principal deste estudo.

A apresentação gráfica dos resultados da modelagem da dispersão atmosférica é denominada de cenário de qualidade do ar. Diante dos milhares de cenários gerados pela modelagem com o CMAQ para os diversos poluentes estudados, e da inviabilidade de apresentação de todos esses resultados no presente trabalho, foram selecionados os de maior representatividade para as análises deste estudo, conforme segue:

- ❑ Cenário de concentrações máximas de curto período: apresenta simultaneamente as máximas concentrações de curto período (1, 8 ou 24 h) que ocorrem em cada célula da malha computacional na camada mais próxima ao solo, independente do momento de sua ocorrência. As máximas concentrações em cada receptor não necessariamente ocorrem na mesma data e hora. Dessa forma, esse cenário não representa uma condição fisicamente possível da atmosfera da área de estudo, pois é obtido do agrupamento estatístico dos milhares de casos gerados pela modelagem. Contudo, sua interpretação é muito útil para uma análise global de possibilidades de alterações máximas de curto período ou eventos agudos de qualidade do ar;
- ❑ Cenário de concentrações médias de longo período: apresenta espacialmente a distribuição média de concentrações de poluentes atmosféricos na camada mais próxima ao solo, considerando todo o período modelado (1 ano ≈ 8.760 horas). Esse cenário representa a referência temporal de longo prazo, de alta representatividade estatística, e

possibilita a verificação das áreas mais frequentemente afetadas pelas emissões consideradas.

Além da apresentação gráfica (cenários de qualidade do ar), os principais resultados da modelagem da dispersão atmosférica foram tabulados, incluindo a apresentação das máximas concentrações de curto período e médias de longo período identificadas em pontos receptores discretos, os quais representam locais de interesse distribuídos na área de estudo para as análises da influência na qualidade do ar.

As seções seguintes apresentam os pontos receptores discretos selecionados e os resultados da modelagem atmosférica, incluindo as concentrações máximas de curto período e as concentrações médias de longo período para cada um dos poluentes atmosféricos considerados (PTS, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO_x, NO₂, CO, O₃ e COV).

8.1. PONTOS RECEPTORES DISCRETOS

Com o objetivo de exemplificar e estabelecer referências quanto à localização e a magnitude da alteração da qualidade do ar proporcionada pelas emissões computadas para a região de estudo, foram escolhidos locais específicos para que os resultados de concentrações pudessem ser analisados. Os locais selecionados são chamados de pontos receptores discretos e, em geral, coincidem com comunidades (cidades, bairros, vilas, povoados, etc.) existentes na área de estudo.

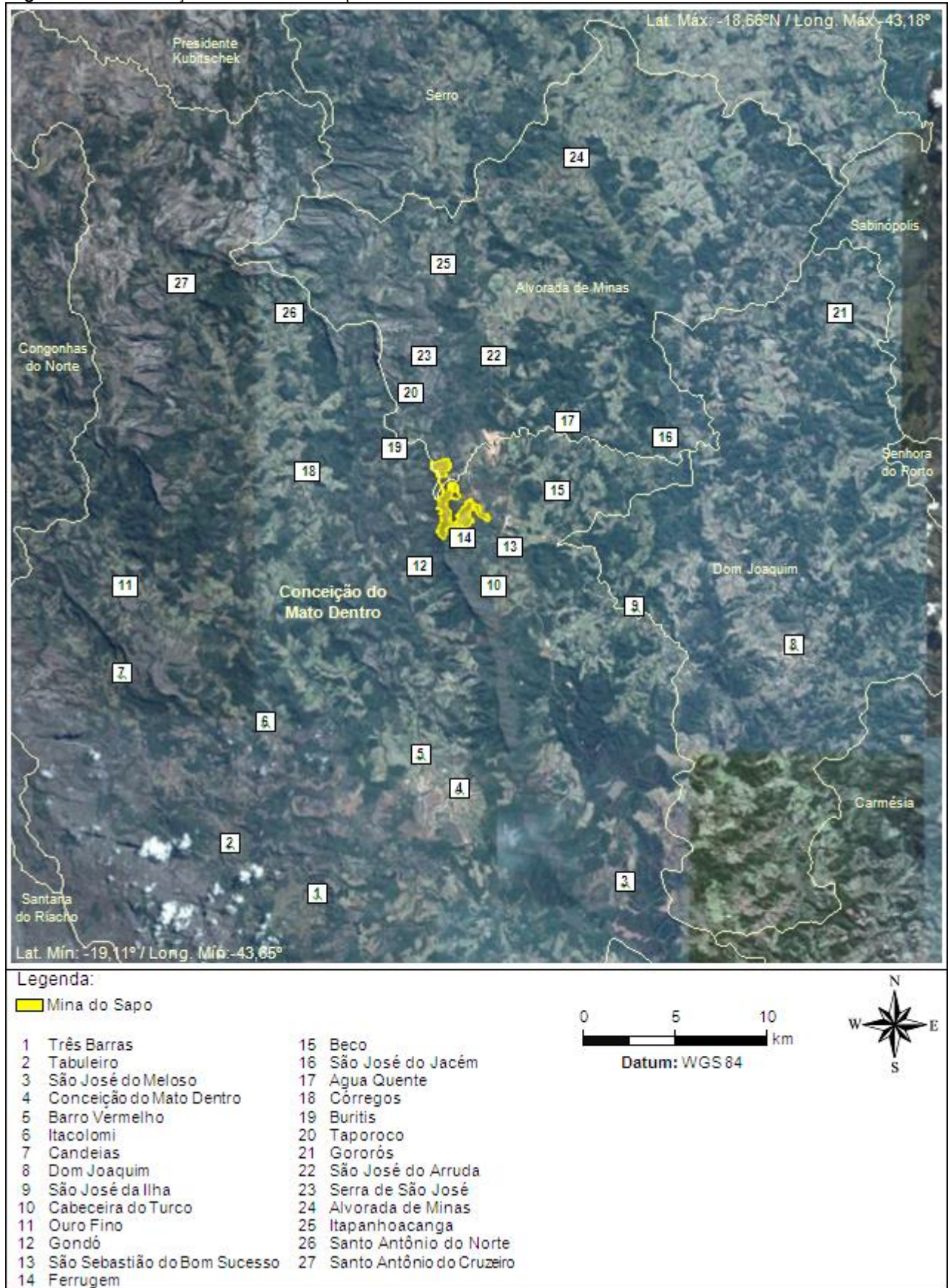
A Tabela 8.1 apresenta a identificação e as coordenadas geográficas dos pontos receptores discretos selecionados. A Figura 8.1 apresenta a localização espacial destes pontos na área de estudo.

As análises apresentadas sob a forma de tabelas e cenários de qualidade do ar fazem referência aos pontos receptores discretos analisados.

Tabela 8.1 – Pontos Receptores Discretos Selecionados na Área de Estudo

Ponto Receptor Discreto		Latitude [°]	Longitude [°]
1	Três Barras	-19,084946	-43,494921
2	Tabuleiro	-19,062013	-43,540683
3	São José do Meloso	-19,07904	-43,340354
4	Conceição do Mato Dentro	-19,03492	-43,423136
5	Barro Vermelho	-19,018952	-43,443595
6	Itacolomi	-19,002168	-43,52068
7	Candeias	-18,980336	-43,593628
8	Dom Joaquim	-18,967222	-43,255556
9	São José da Ilha	-18,948751	-43,33616
10	Cabeceira do Turco	-18,939018	-43,407484
11	Ouro Fino	-18,936276	-43,590758
12	Gondó	-18,929262	-43,44601
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	-18,924444	-43,401111
14	Ferrugem	-18,915238	-43,42232
15	Beco	-18,893013	-43,377251
16	São José do Jassém	-18,869266	-43,323377
17	Água Quente	-18,861794	-43,371947
18	Córregos	-18,884798	-43,500874
19	Buritis	-18,87335	-43,45765
20	Taporoco	-18,848459	-43,450181
21	Gororós	-18,807576	-43,234557
22	São José do Arruda	-18,829162	-43,406454
23	Serra de São José	-18,829587	-43,445031
24	Alvorada de Minas	-18,733843	-43,364209
25	Itapanhoacanga	-18,785208	-43,432345
26	Santo Antônio do Norte	-18,808672	-43,511799
27	Santo Antônio do Cruzeiro	-18,794793	-43,564027

Figura 8.1 – Localização dos Pontos Receptores Discretos Analisados na Área de Estudo



8.2. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)

A Tabela 8.2 apresenta as máximas concentrações médias de 24 horas e as concentrações médias anuais de PTS calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.2 e 8.3 apresentam os cenários de qualidade do ar de PTS para as máximas concentrações médias de 24 horas e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.2 – Concentrações de PTS Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de PTS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
		Máxima de 24 horas	Média Anual
Padrão de Qualidade do Ar ^a		240	80
1	Três Barras	20	19
2	Tabuleiro	20	19
3	São José do Meloso	20	19
4	Conceição do Mato Dentro	50	32
5	Barro Vermelho	38	27
6	Itacolomi	21	20
7	Candeias	20	19
8	Dom Joaquim	32	26
9	São José da Ilha	22	20
10	Cabeceira do Turco	26	21
11	Ouro Fino	21	20
12	Gondó	42	23
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	40	28
14	Ferrugem	53	26
15	Beco	35	22
16	São José do Jassém	22	20
17	Água Quente	37	22
18	Córregos	24	20
19	Buritis	34	23
20	Taporoco	30	21
21	Gororós	21	19
22	São José do Arruda	37	26
23	Serra de São José	25	20
24	Alvorada de Minas	28	24
25	Itapanhoacanga	24	20
26	Santo Antônio do Norte	21	19
27	Santo Antônio do Cruzeiro	20	19

Notas:

a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

O maior potencial de acréscimo de concentrações de curto período (24 horas) para PTS foi verificado no ponto receptor localizado em Ferrugem, com um valor equivalente a 22% do respectivo padrão primário de qualidade do ar ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em seguida, o ponto receptor localizado em Conceição do Mato Dentro apresentou concentração equivalente a aproximadamente 21% do limite estabelecido.

Considerando as concentrações médias anuais modeladas de PTS, a maior influência foi verificada no ponto receptor Conceição do Mato Dentro, com um valor equivalente a cerca de 40% do respectivo padrão primário de qualidade do ar ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Os resultados obtidos pela modelagem da qualidade do ar indicam concentrações abaixo dos limites estabelecidos pelos padrões de qualidade do ar em todos os pontos receptores analisados.

Figura 8.2 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 Horas de PTS

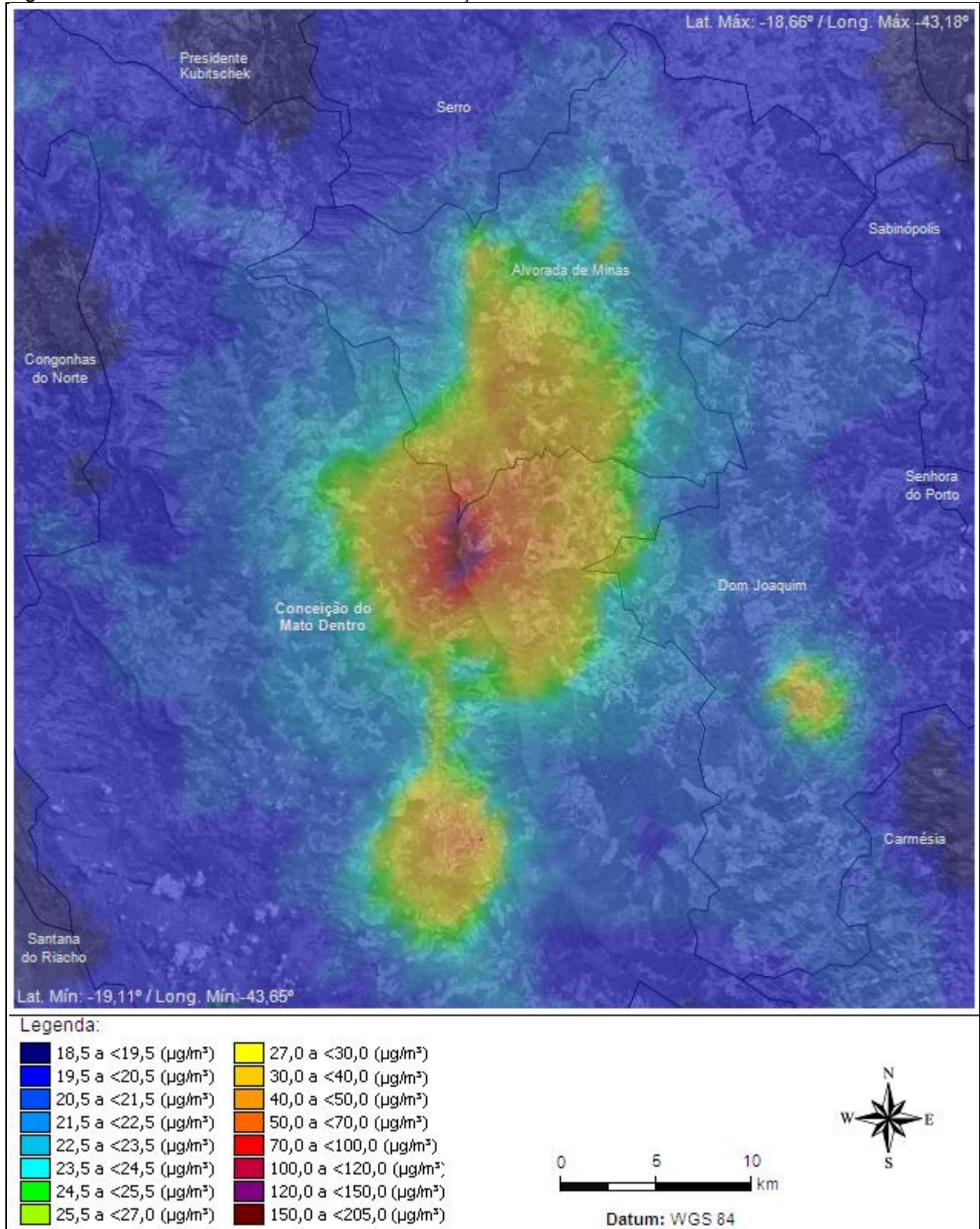
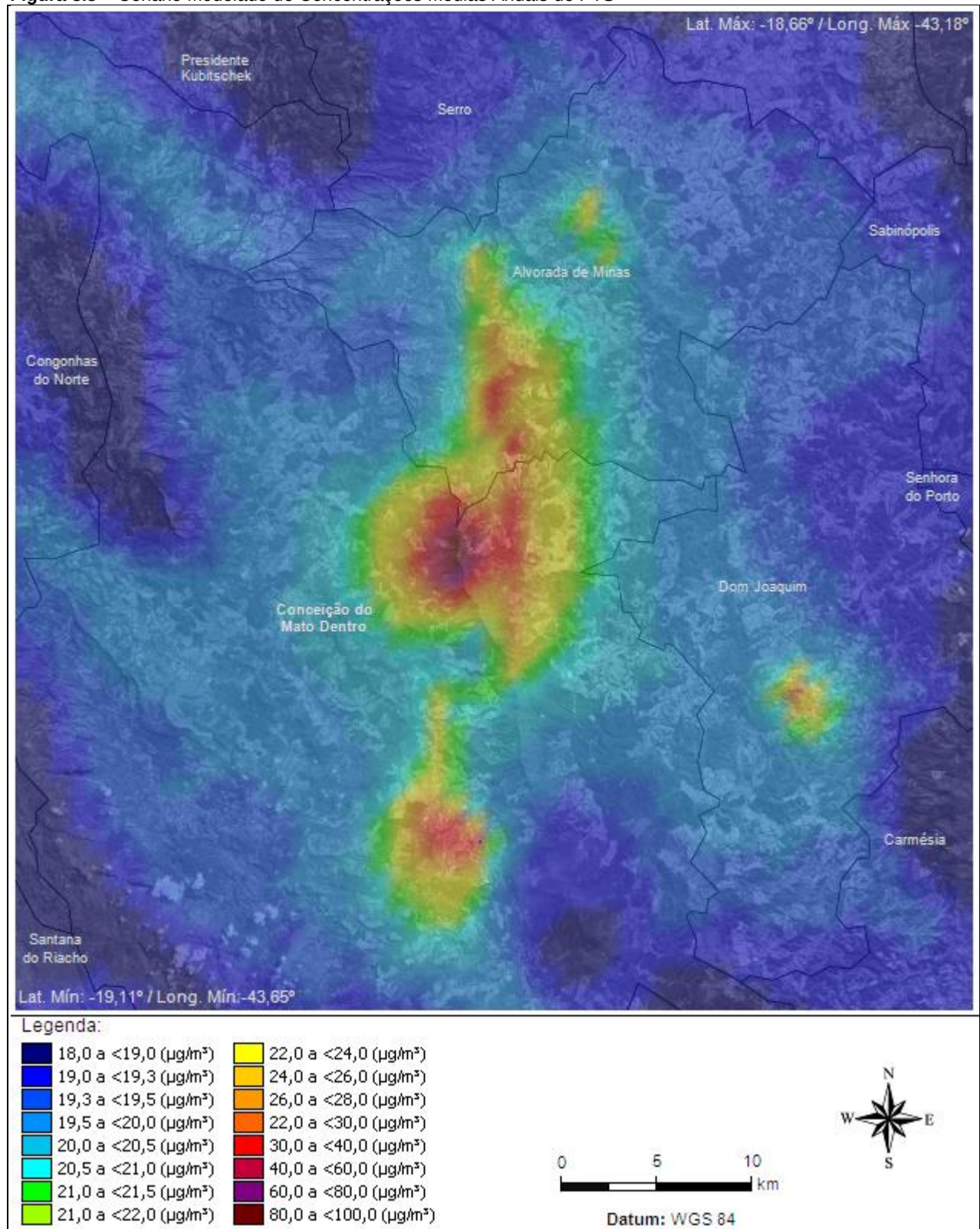


Figura 8.3 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de PTS



8.3. MATERIAL PARTICULADO MENOR QUE 10 µm (PM₁₀)

A Tabela 8.3 apresenta as máximas concentrações médias de 24 horas e as concentrações médias anuais de PM₁₀ calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.4 e 8.5 apresentam os cenários de qualidade do ar de PM₁₀ para as máximas concentrações médias de 24 horas e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.3 – Concentrações de PM₁₀ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de PM ₁₀ [µg/m³]	
		Máxima de 24 horas	Média Anual
Padrão de Qualidade do Ar ^a		150	50
1	Três Barras	14	13
2	Tabuleiro	14	13
3	São José do Meloso	14	13
4	Conceição do Mato Dentro	38	22
5	Barro Vermelho	27	19
6	Itacolomi	14	13
7	Candeias	14	13
8	Dom Joaquim	23	18
9	São José da Ilha	16	14
10	Cabeceira do Turco	19	15
11	Ouro Fino	14	13
12	Gondó	33	16
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	30	20
14	Ferrugem	40	19
15	Beco	28	16
16	São José do Jassém	16	13
17	Água Quente	29	15
18	Córregos	17	14
19	Buritiz	26	16
20	Taporoco	23	15
21	Gororós	14	13
22	São José do Arruda	28	18
23	Serra de São José	18	14
24	Alvorada de Minas	20	16
25	Itapanhoacanga	17	14
26	Santo Antônio do Norte	15	13
27	Santo Antônio do Cruzeiro	14	13

Notas:

a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

O comportamento de PM₁₀ tende a aproximar-se do comportamento identificado para o parâmetro PTS.

O maior potencial de acréscimo de concentrações de curto período (24 horas) para PM₁₀ foi verificado no ponto receptor localizado em Ferrugem, com um valor equivalente a 27% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (150 µg/m³). Em seguida, o ponto receptor localizado em Conceição do Mato Dentro apresentou concentração equivalente a aproximadamente 25% do limite estabelecido.

Considerando as concentrações médias anuais modeladas de PTS, a maior influência foi verificada no ponto receptor Conceição do Mato Dentro, com um valor equivalente a 37% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (50 µg/m³).

Figura 8.4 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 Horas de PM₁₀

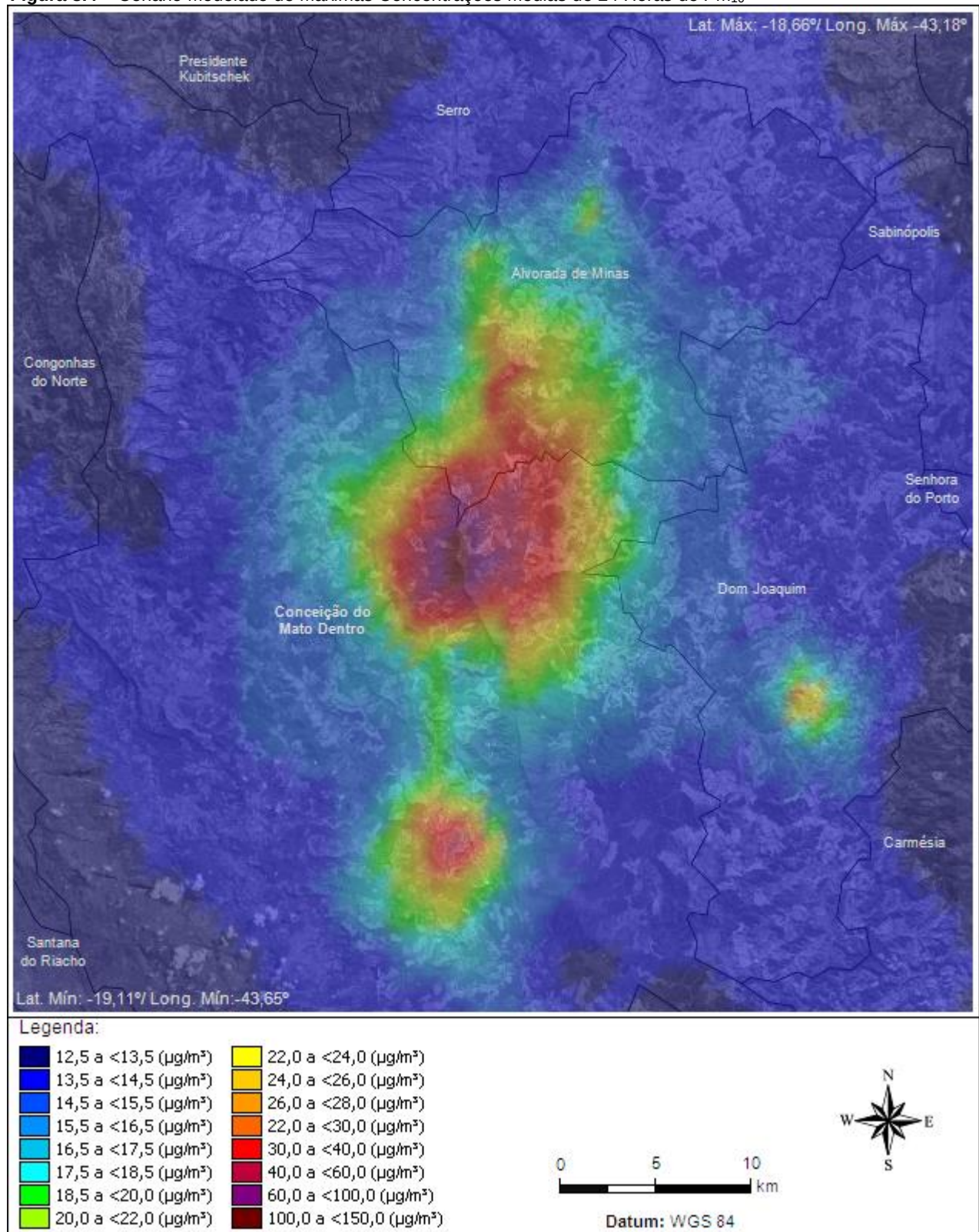
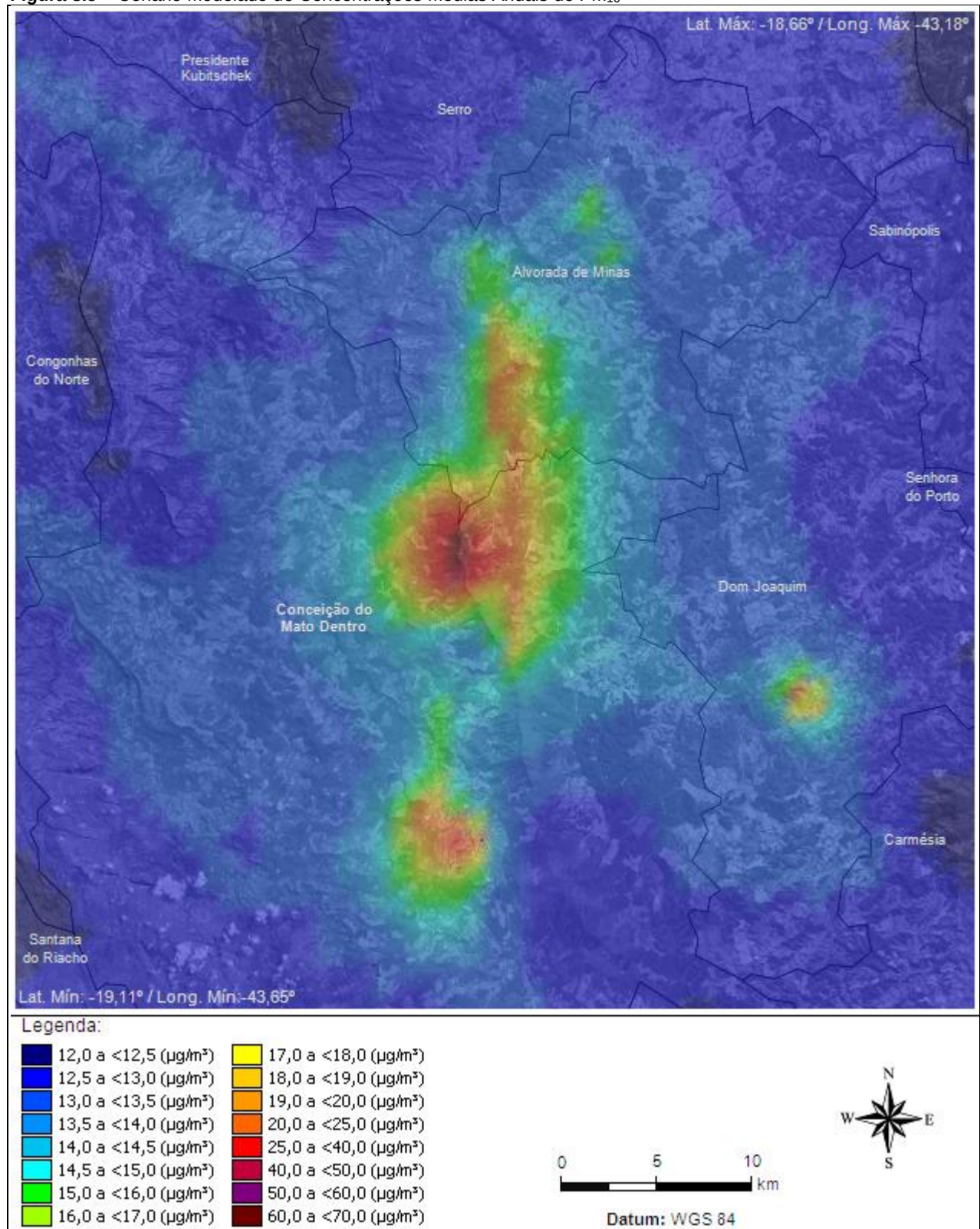


Figura 8.5 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de PM₁₀



8.4. MATERIAL PARTICULADO MENOR QUE 2,5 μm ($\text{PM}_{2.5}$)

A Tabela 8.4 apresenta as máximas concentrações médias de 24 horas e as concentrações médias anuais de $\text{PM}_{2.5}$ calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.6 e 8.7 apresentam os cenários de qualidade do ar de $\text{PM}_{2.5}$ para as máximas concentrações médias de 24 horas e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.4 – Concentrações de $\text{PM}_{2.5}$ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de $\text{PM}_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
		Máxima de 24 horas	Média Anual
Padrão de Qualidade do Ar de São Paulo ^{a, b}		60	20
1	Três Barras	8	7
2	Tabuleiro	8	7
3	São José do Meloso	8	7
4	Conceição do Mato Dentro	13	9
5	Barro Vermelho	10	9
6	Itacolomi	8	7
7	Candeias	8	7
8	Dom Joaquim	11	8
9	São José da Ilha	9	8
10	Cabeceira do Turco	9	8
11	Ouro Fino	8	7
12	Gondó	12	8
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	11	8
14	Ferrugem	12	8
15	Beco	11	8
16	São José do Jassém	9	8
17	Água Quente	11	8
18	Córregos	9	8
19	Buritiz	10	8
20	Taporoco	10	8
21	Gororós	8	7
22	São José do Arruda	11	8
23	Serra de São José	9	8
24	Alvorada de Minas	9	8
25	Itapanhoacanga	8	8
26	Santo Antônio do Norte	8	7
27	Santo Antônio do Cruzeiro	8	7

Notas:

- a. Decreto Estadual 59.113 de 2013;
- b. Utilizado como referência por ausência de padrão específico de qualidade do ar vigente em MG.

A Resolução CONAMA 03/1990 não estabelece padrão de qualidade do ar para $\text{PM}_{2.5}$, mas é necessário destacar que devido à importância deste poluente, sobretudo no que diz respeito aos seus efeitos sobre a saúde, há uma tendência nacional para o estabelecimento de padrões de qualidade do ar.

Com relação ao valor referenciado pelo padrão de qualidade do ar em uso em São Paulo, para as máximas de 24h foi observado um maior impacto no ponto receptor Conceição de Mato Dentro com um potencial de atingir 22% do valor estabelecido como limite no estado de São Paulo.

Considerando as concentrações médias anuais modeladas, a maior influência também foi verificada no ponto receptor Conceição de Mato Dentro com um potencial de atingir cerca de 45% do PQAr de São Paulo.

Figura 8.6 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 Horas de PM_{2,5}

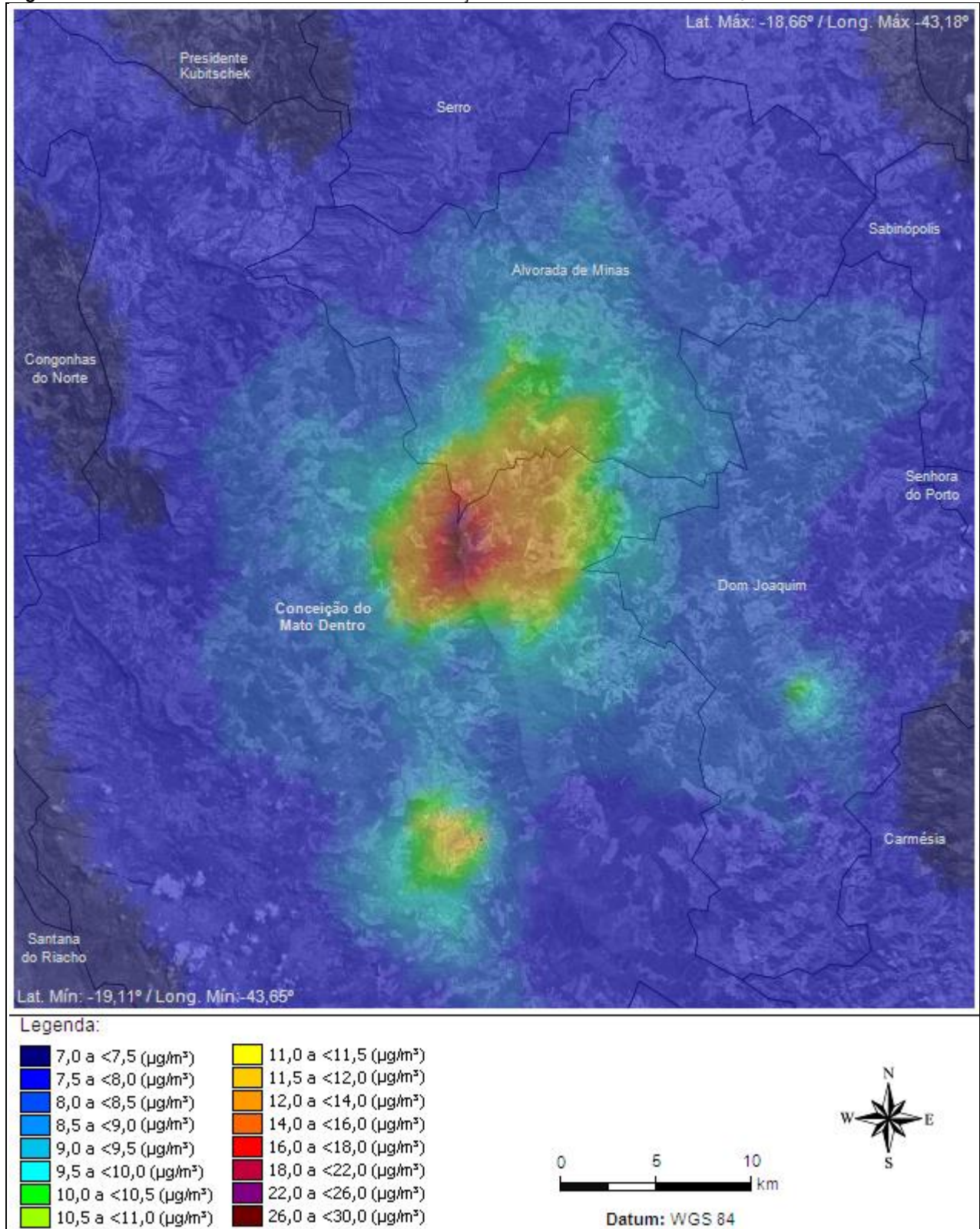
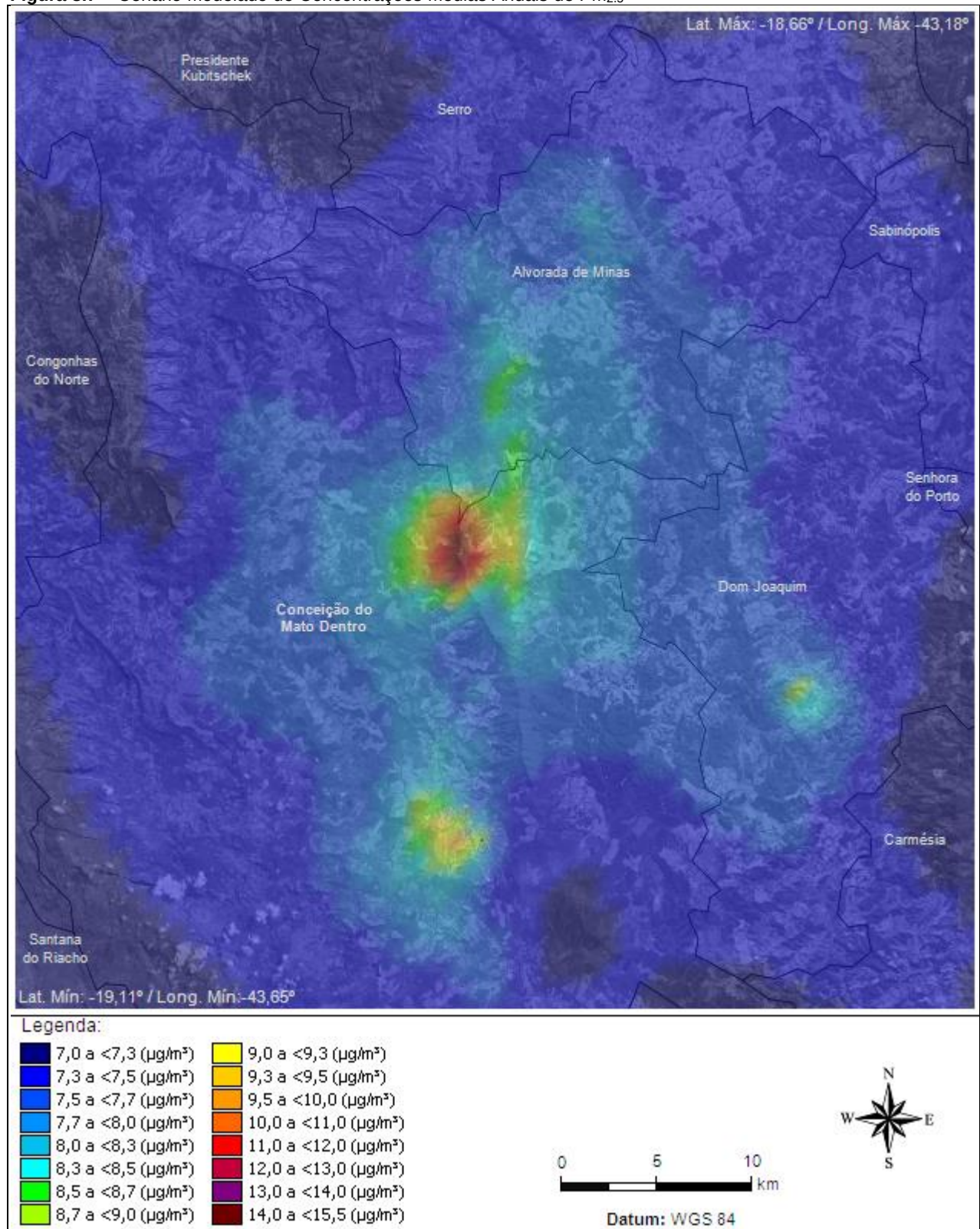


Figura 8.7 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de PM_{2.5}



8.5. DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂)

A Tabela 8.5 apresenta as máximas concentrações médias de 24 horas e as concentrações médias anuais de SO₂ calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.8 e 8.9 apresentam os cenários de qualidade do ar de SO₂ para as máximas concentrações médias de 24 horas e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.5 – Concentrações de SO₂ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de SO ₂ [µg/m ³]	
		Máxima de 24 horas	Média Anual
Padrão de Qualidade do Ar ^a		365	80
1	Três Barras	0,04	0,02
2	Tabuleiro	0,03	0,02
3	São José do Meloso	0,03	0,02
4	Conceição do Mato Dentro	0,46	0,22
5	Barro Vermelho	0,29	0,14
6	Itacolomi	0,04	0,02
7	Candeias	0,03	0,02
8	Dom Joaquim	0,22	0,12
9	São José da Ilha	0,05	0,02
10	Cabeceira do Turco	0,12	0,03
11	Ouro Fino	0,03	0,02
12	Gondó	0,27	0,08
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	0,16	0,05
14	Ferrugem	0,45	0,10
15	Beco	0,14	0,04
16	São José do Jassém	0,04	0,02
17	Água Quente	0,14	0,03
18	Córregos	0,09	0,03
19	Buritis	0,15	0,04
20	Taporoco	0,12	0,03
21	Gororós	0,02	0,02
22	São José do Arruda	0,08	0,03
23	Serra de São José	0,06	0,02
24	Alvorada de Minas	0,14	0,09
25	Itapanhoacanga	0,03	0,02
26	Santo Antônio do Norte	0,04	0,02
27	Santo Antônio do Cruzeiro	0,02	0,02

Notas:

a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

Em geral, as concentrações modeladas de SO₂ nos pontos receptores analisados são de baixa magnitude, destacando que a região não possui grandes aportes de emissões deste poluente.

As emissões de SO₂ na área de estudo se originam, principalmente da combustão em veículos automotores. Conforme observado na Tabela 8.5 e nas Figuras 8.8 e 8.9 o SO₂ é um poluente de baixa relevância na área de estudo.

Os potenciais acréscimos de concentrações de curto período (24 horas) para SO₂ são de baixa magnitude nos pontos receptores analisados, sendo o maior potencial verificado no ponto localizado em Conceição do Mato Dentro, com um valor equivalente a aproximadamente 0,1% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (365 µg/m³).

Considerando as concentrações médias anuais modeladas de SO₂, a maior influência foi verificada no ponto receptor Conceição do Mato Dentro, com um valor inferior a 0,1% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (80 µg/m³).

Figura 8.8 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 24 Horas de SO₂

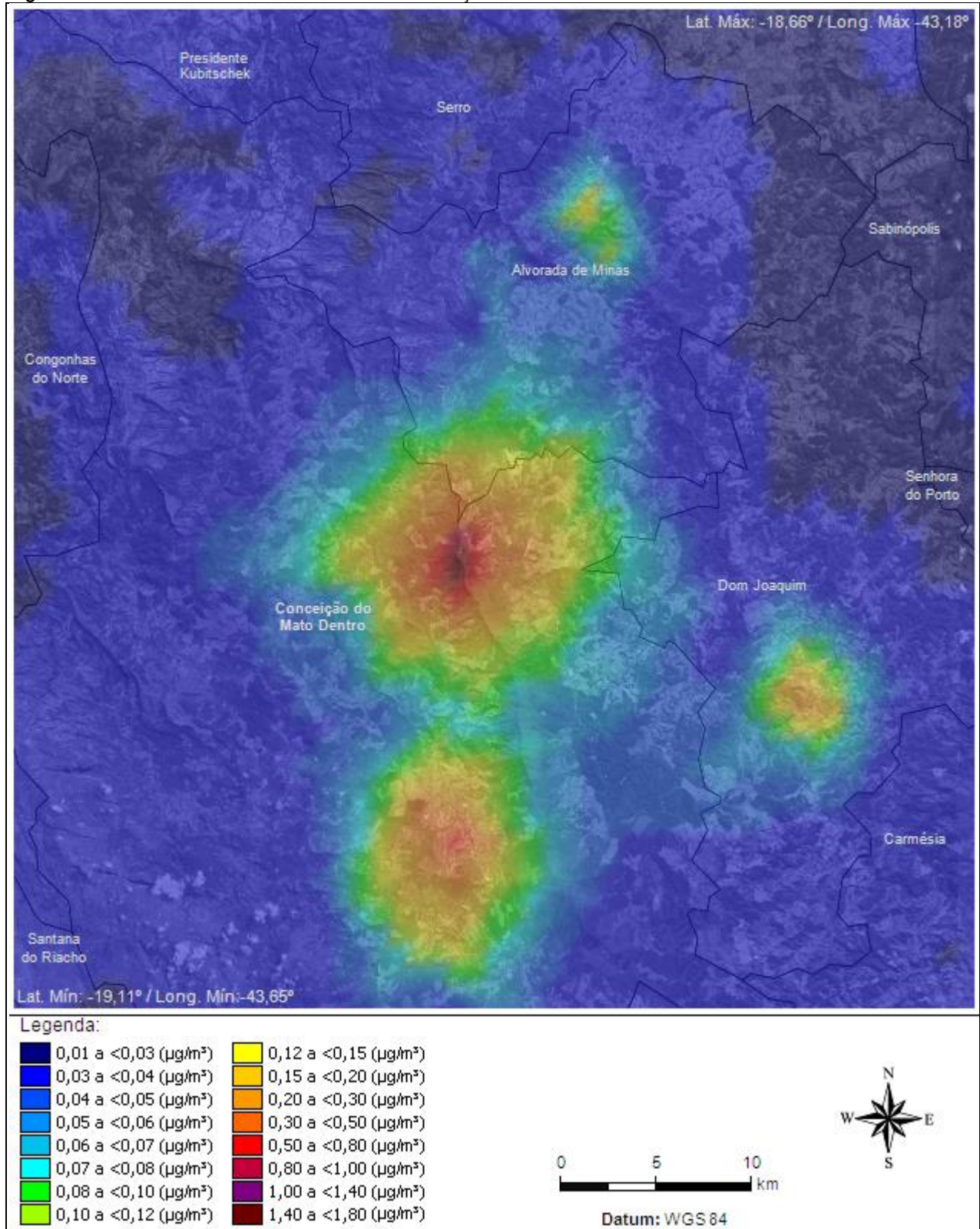
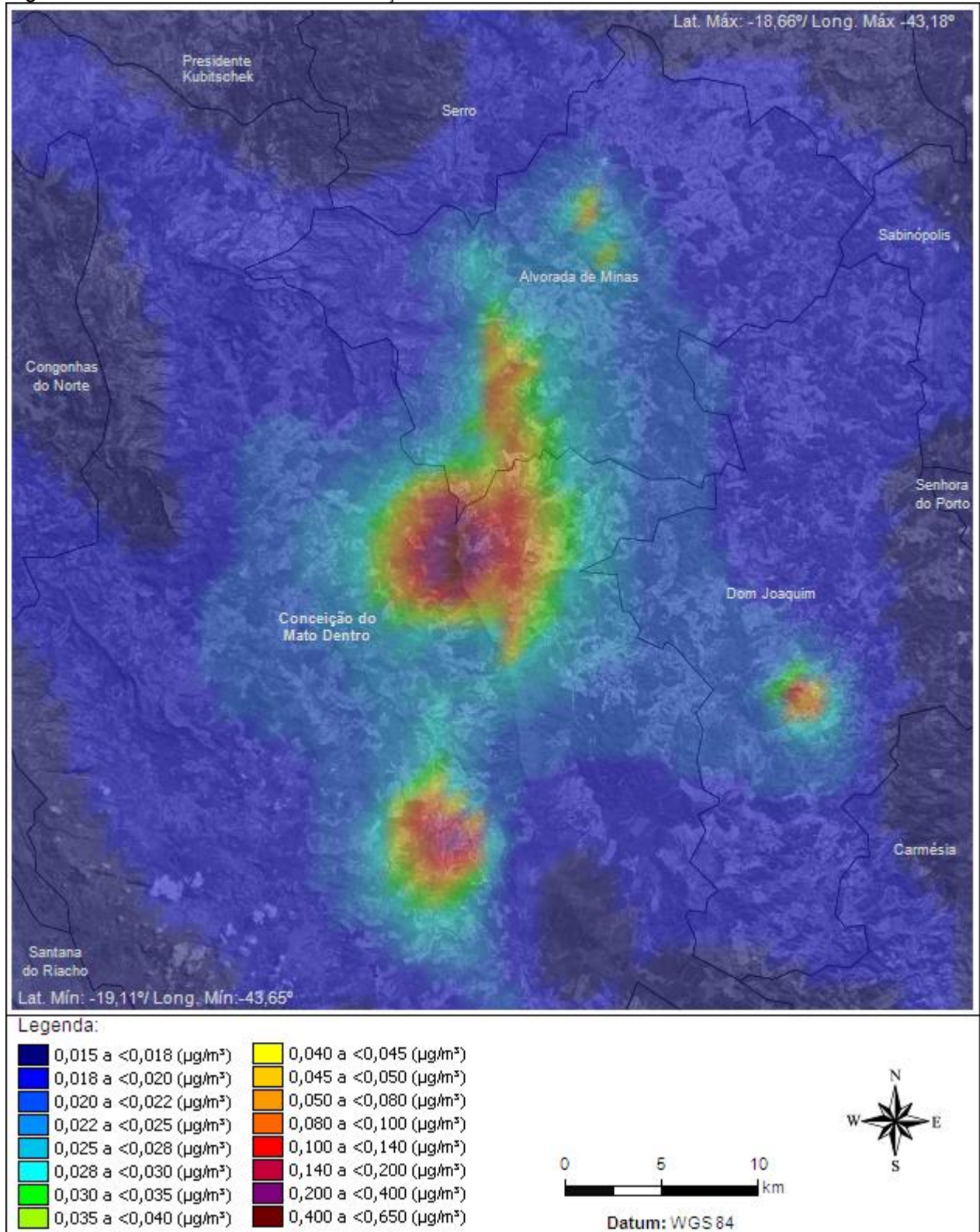


Figura 8.9 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de SO₂



8.6. ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NO_x)

A Tabela 8.6 apresenta as máximas concentrações médias de 1 hora e as concentrações médias anuais de NO_x calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.10 e 8.11 apresentam os cenários de qualidade do ar de NO_x para as máximas concentrações médias de 1 hora e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.6 – Concentrações de NO_x Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de NO _x [µg/m³]	
		Máxima de 1 hora	Média Anual
1	Três Barras	16	6
2	Tabuleiro	15	6
3	São José do Meloso	15	6
4	Conceição do Mato Dentro	48	15
5	Barro Vermelho	36	12
6	Itacolomi	23	6
7	Candeias	19	6
8	Dom Joaquim	33	13
9	São José da Ilha	35	7
10	Cabeceira do Turco	79	8
11	Ouro Fino	20	6
12	Gondó	133	14
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	95	10
14	Ferrugem	160	16
15	Beco	76	9
16	São José do Jassém	42	6
17	Água Quente	71	8
18	Córregos	55	7
19	Buritiz	106	10
20	Taporoco	92	8
21	Gororós	14	6
22	São José do Arruda	52	7
23	Serra de São José	54	7
24	Alvorada de Minas	26	11
25	Itapanhoacanga	35	6
26	Santo Antônio do Norte	26	6
27	Santo Antônio do Cruzeiro	19	6

A Resolução CONAMA nº 03 de 1990 não estabelece padrão de qualidade do ar para NO_x, mas estabelece limites para NO₂.

O maior potencial de acréscimo de concentrações de curto período (1 hora) para NO_x foi verificado no ponto localizado na comunidade de Ferrugem.

Analogamente as máximas de 1 hora de NO_x, as concentrações médias anuais apresentaram também maior influência no ponto receptor Ferrugem.

Figura 8.10 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 Hora de NO_x

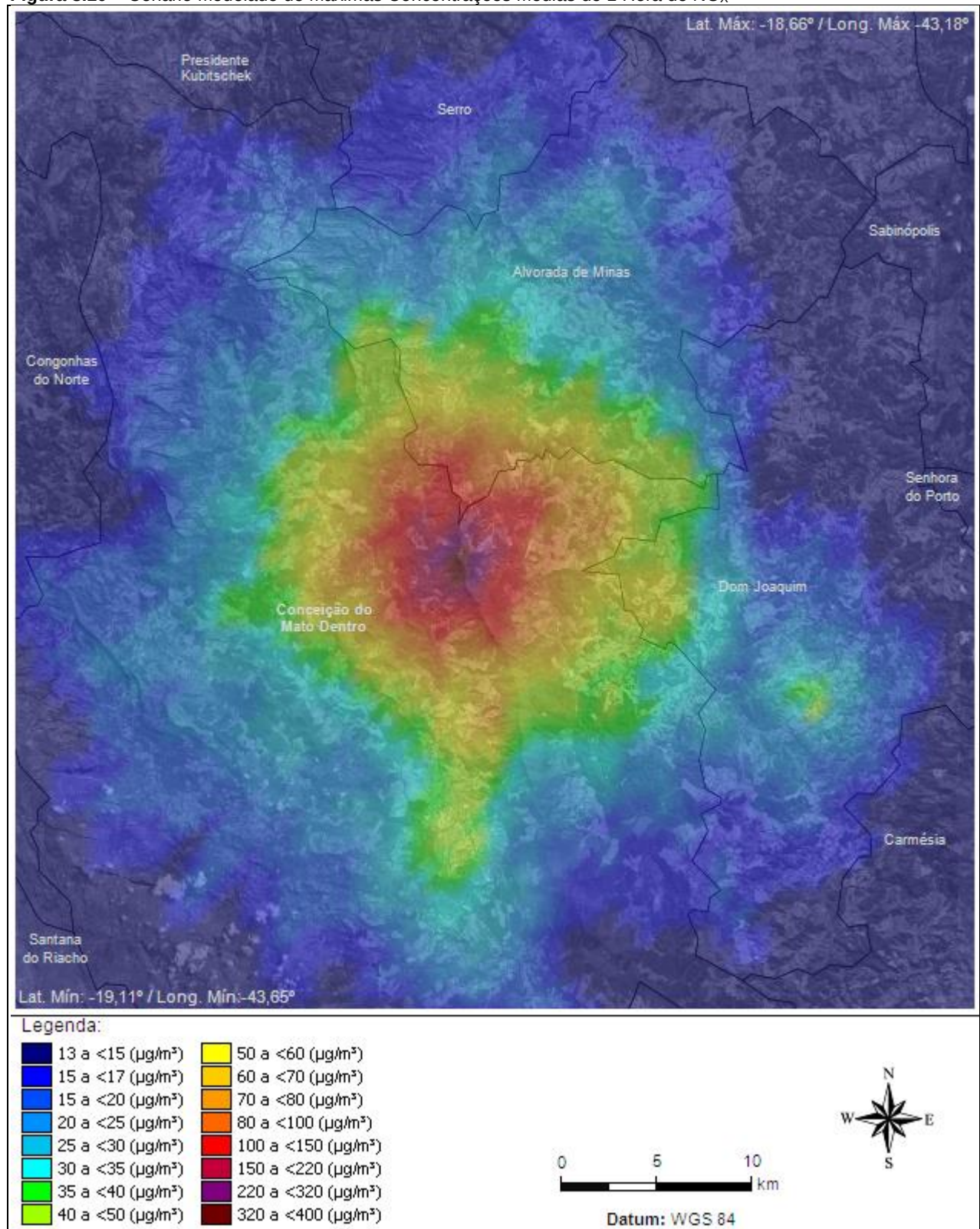
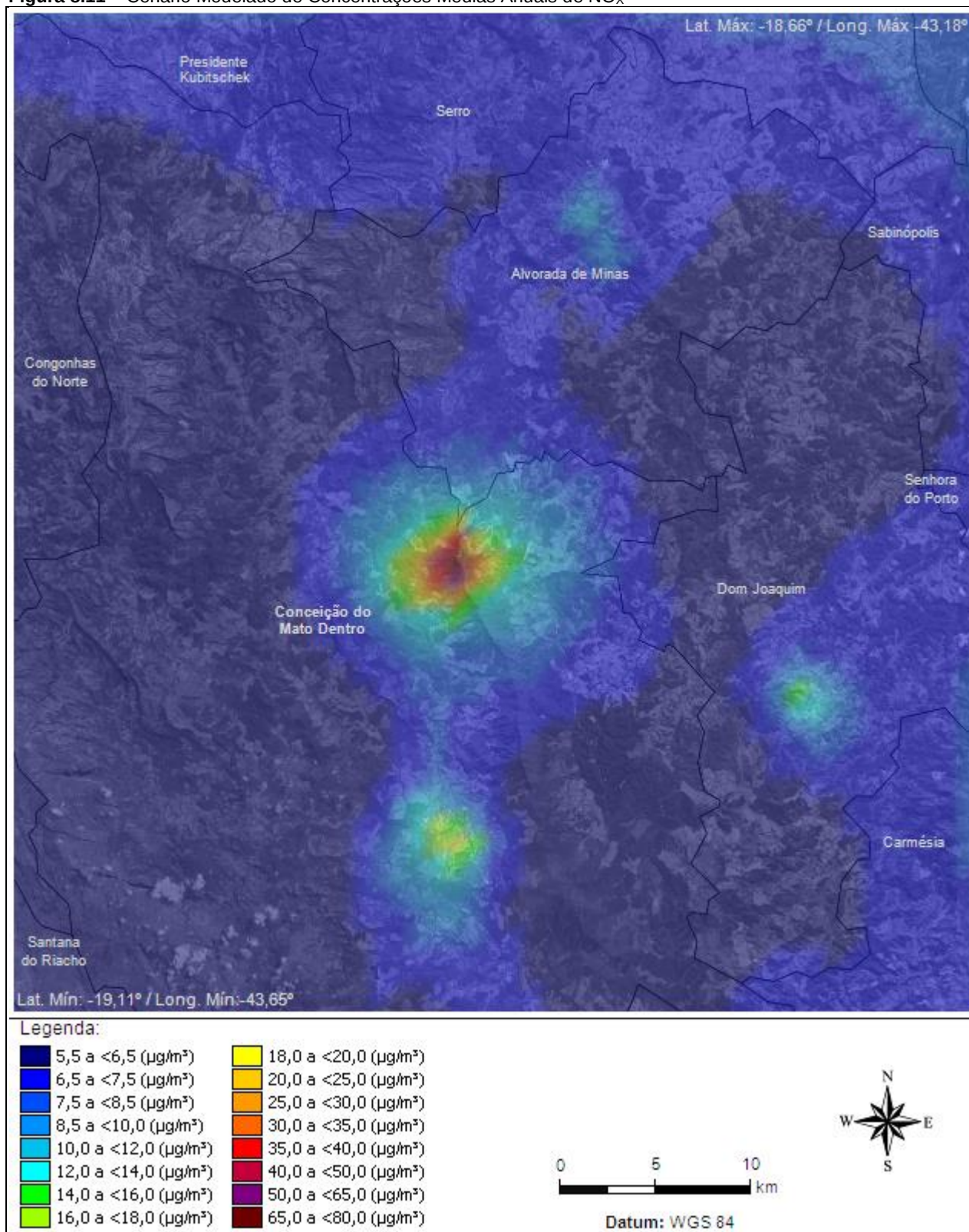


Figura 8.11 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de NO_x



8.7. DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂)

A Tabela 8.7 apresenta as máximas concentrações médias de 1 hora e as concentrações médias anuais de NO₂ calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.12 e 8.13 apresentam os cenários de qualidade do ar de NO₂ para as máximas concentrações médias de 1 hora e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.7 – Concentrações de NO₂ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos da Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de NO ₂ [µg/m ³]	
		Máxima de 1 hora	Média Anual
Padrão de Qualidade do Ar ^a		320	100
1	Três Barras	15	6
2	Tabuleiro	14	6
3	São José do Meloso	14	6
4	Conceição do Mato Dentro	42	13
5	Barro Vermelho	33	11
6	Itacolomi	23	6
7	Candeias	18	6
8	Dom Joaquim	27	11
9	São José da Ilha	33	6
10	Cabeceira do Turco	64	7
11	Ouro Fino	20	6
12	Gondó	119	12
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	89	9
14	Ferrugem	113	13
15	Beco	69	8
16	São José do Jassém	42	6
17	Água Quente	65	8
18	Córregos	55	7
19	Buritis	87	9
20	Taporoco	78	8
21	Gororós	14	6
22	São José do Arruda	50	7
23	Serra de São José	50	6
24	Alvorada de Minas	24	10
25	Itapanhoacanga	34	6
26	Santo Antônio do Norte	24	6
27	Santo Antônio do Cruzeiro	17	6

Notas:

a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

O maior potencial de acréscimo de concentrações de curto período (1 hora) para NO₂ foi verificado no ponto localizado em Gondó, com um valor equivalente a aproximadamente 37% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (320 µg/m³). Em seguida, o ponto receptor localizado na comunidade de Ferrugem apresentou concentração equivalente a aproximadamente 35% do limite estabelecido.

Considerando as concentrações médias anuais modeladas de NO₂, a maior influência foi verificada no ponto receptor de Três Barras, com um valor inferior equivalente a 6% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (100 µg/m³).

Figura 8.12 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 Hora de NO₂

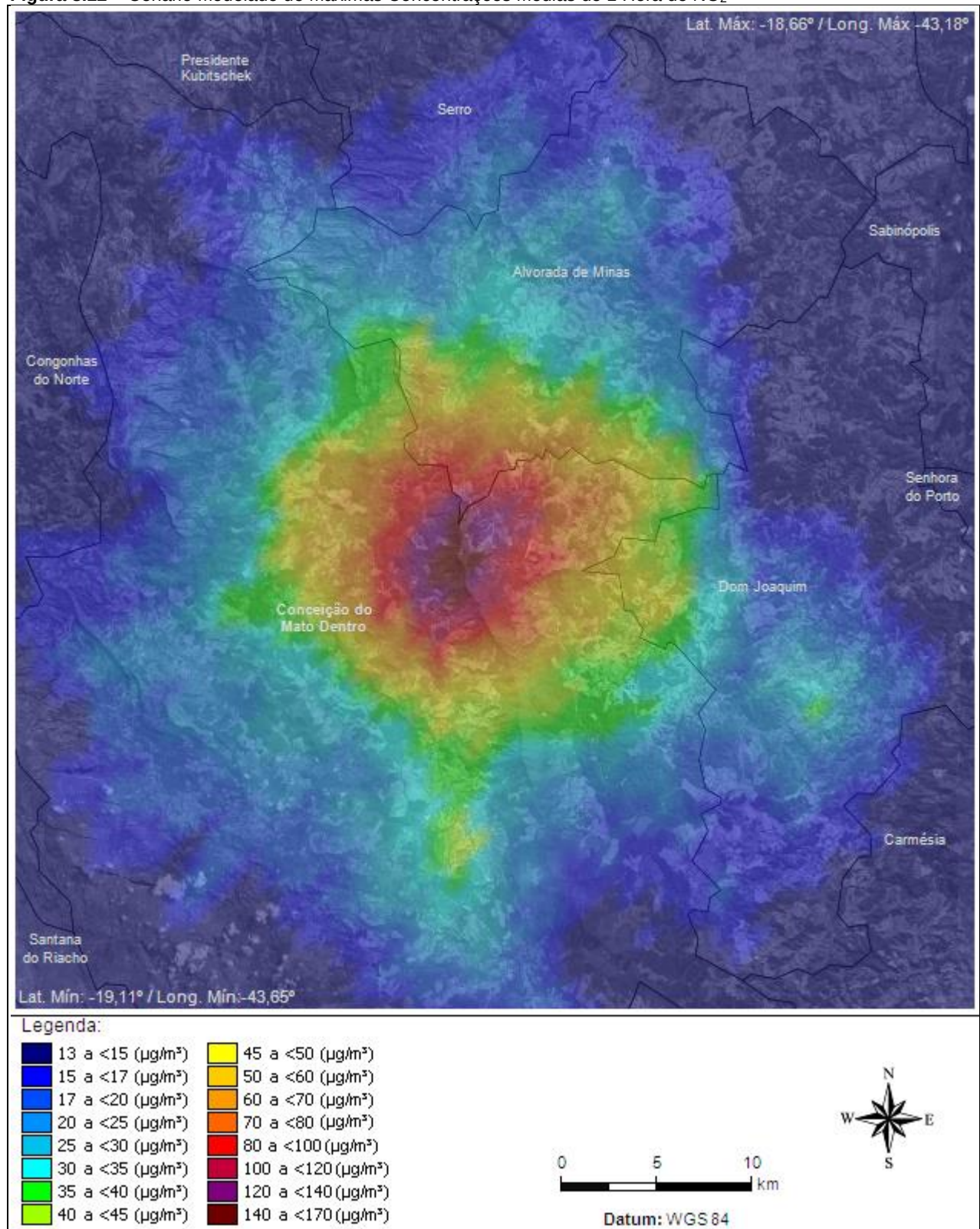
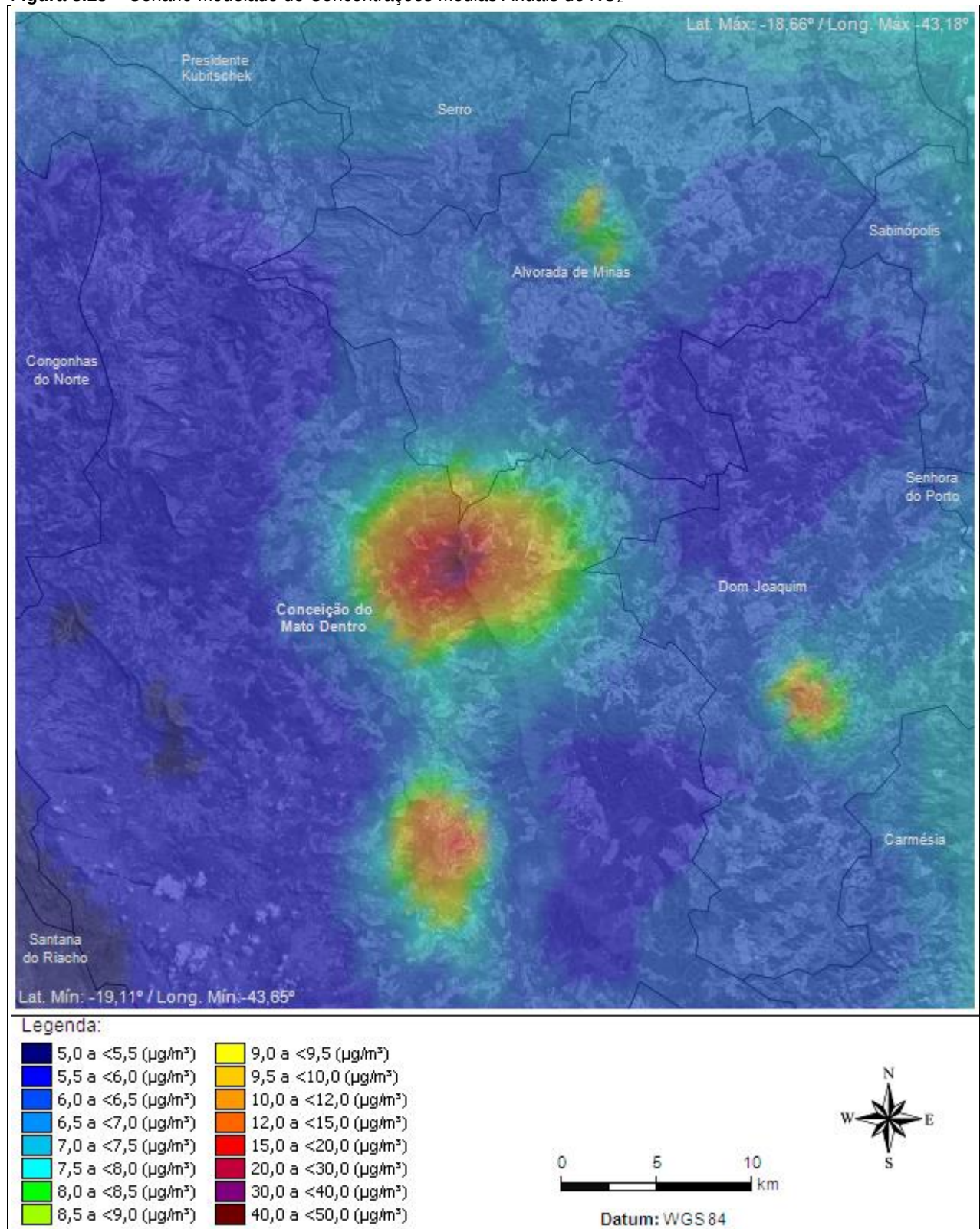


Figura 8.13 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de NO₂



8.8. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

A Tabela 8.8 apresenta as máximas concentrações médias de 1 hora e de 8 horas de CO calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.14 e 8.15 apresentam os cenários de qualidade do ar de CO para as máximas concentrações médias de 1 hora e de 8 horas, respectivamente.

Tabela 8.8 – Concentrações de CO Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
		Máxima de 1 hora	Máxima de 8 horas
Padrão de Qualidade do Ar ^a		40.000	10.000
1	Três Barras	256	247
2	Tabuleiro	254	246
3	São José do Meloso	253	246
4	Conceição do Mato Dentro	395	341
5	Barro Vermelho	357	288
6	Itacolomi	261	246
7	Candeias	250	246
8	Dom Joaquim	297	269
9	São José da Ilha	262	246
10	Cabeceira do Turco	260	246
11	Ouro Fino	251	246
12	Gondó	284	260
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	260	246
14	Ferrugem	305	255
15	Beco	261	245
16	São José do Jassém	253	244
17	Água Quente	258	245
18	Córregos	251	247
19	Buritis	257	246
20	Taporoco	262	246
21	Gororós	249	244
22	São José do Arruda	248	245
23	Serra de São José	249	245
24	Alvorada de Minas	261	245
25	Itapanhoacanga	248	244
26	Santo Antônio do Norte	250	245
27	Santo Antônio do Cruzeiro	248	245

Notas:

a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

Os potenciais acréscimos de concentrações de curto período (1 hora) para CO são de baixa magnitude nos pontos receptores analisados. Todos os pontos analisados apresentaram concentrações inferiores a 1% do respectivo padrão primários de qualidade do ar (40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Os potenciais acréscimos de concentrações de curto período (8 horas) para CO são de baixa magnitude nos pontos receptores analisados. Todos os pontos analisados apresentaram concentrações inferiores a 4% do respectivo padrão primário de qualidade do ar (10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 8.14 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 Hora de CO

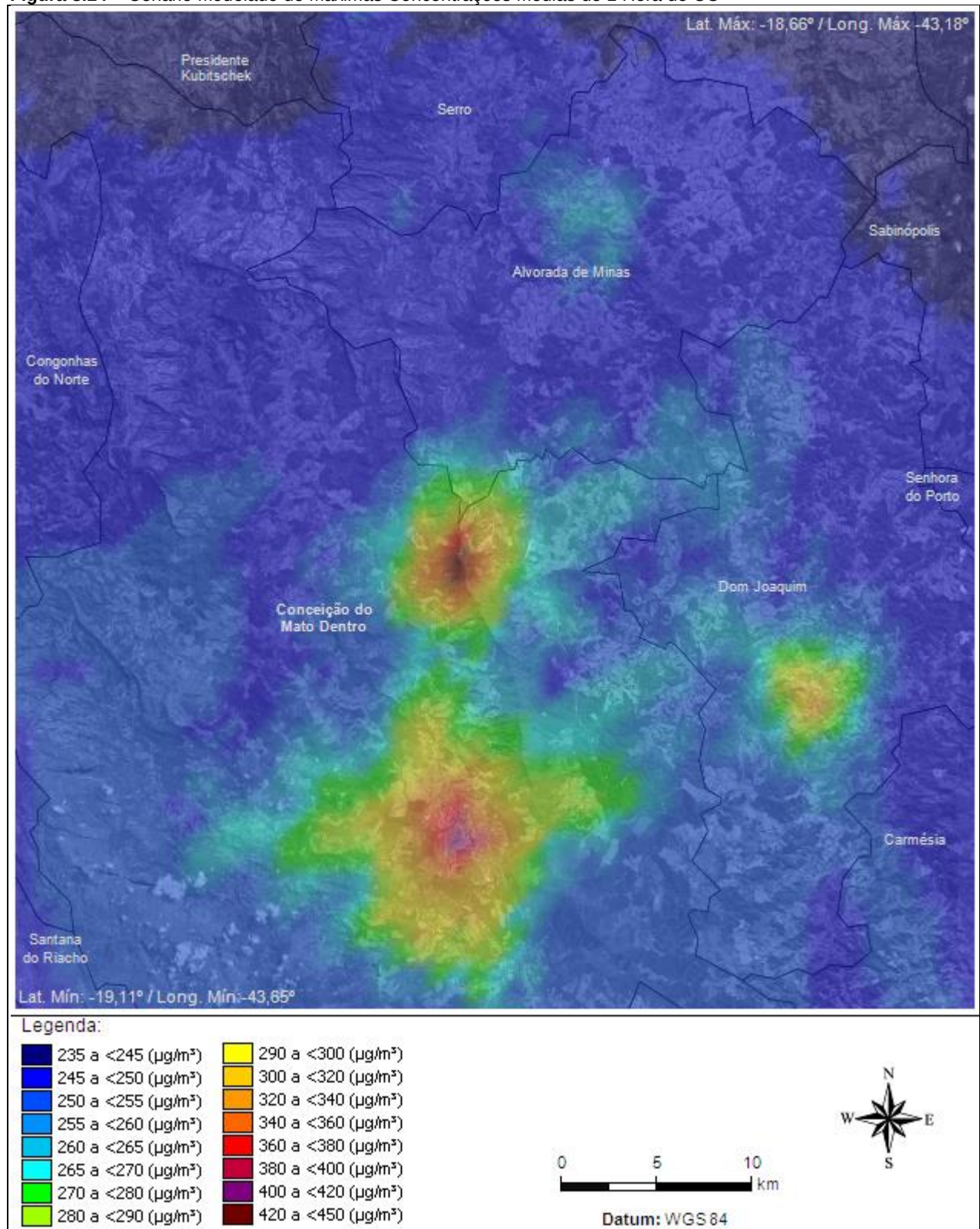
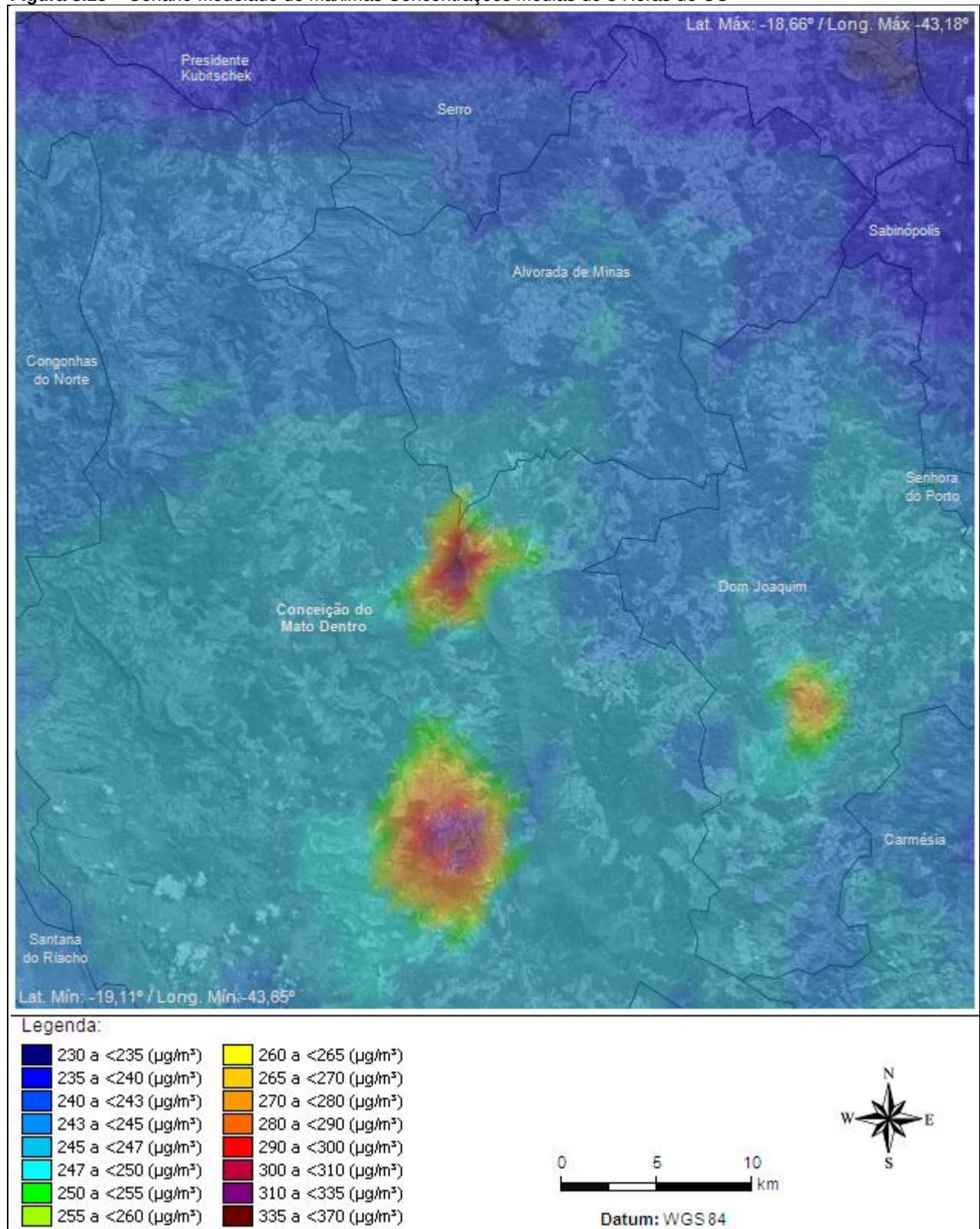


Figura 8.15 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 8 Horas de CO



8.9. OZÔNIO (O₃)

A Tabela 8.9 apresenta as máximas concentrações médias de 1 hora de O₃ calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

A Figura 8.16 apresenta o cenário de qualidade do ar de O₃ para as máximas concentrações médias de 1 hora.

Tabela 8.9 – Concentrações de O₃ Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de O ₃ [µg/m ³]
Padrão de Qualidade do Ar ^a		Máxima de 1 hora
		160
1	Três Barras	169
2	Tabuleiro	171
3	São José do Meloso	166
4	Conceição do Mato Dentro	171
5	Barro Vermelho	171
6	Itacolomi	169
7	Candeias	167
8	Dom Joaquim	165
9	São José da Ilha	169
10	Cabeceira do Turco	168
11	Ouro Fino	165
12	Gondó	166
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	168
14	Ferrugem	170
15	Beco	166
16	São José do Jassém	165
17	Água Quente	168
18	Córregos	166
19	Buritis	167
20	Taporoco	166
21	Gororós	159
22	São José do Arruda	166
23	Serra de São José	162
24	Alvorada de Minas	163
25	Itapanhoacanga	164
26	Santo Antônio do Norte	165
27	Santo Antônio do Cruzeiro	157

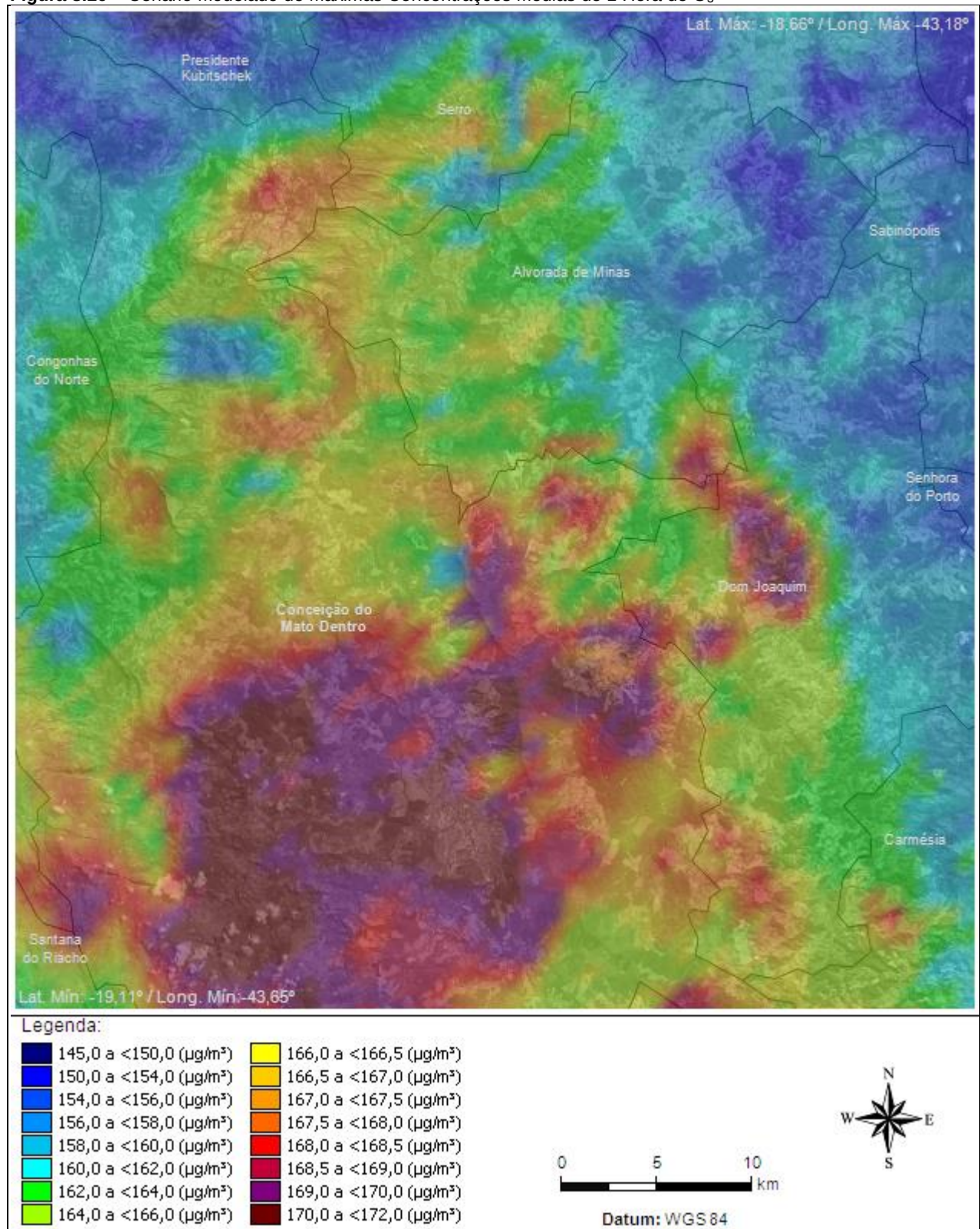
Notas:

a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

É importante destacar que o O₃ é um poluente de difícil representação por modelagem, devido à dificuldade de representar a sua complexa dinâmica física e química da atmosfera.

Por ora, os resultados da modelagem de O₃ devem ser vistos com ressalvas. Estes resultados representam uma ordem de grandeza potencial das concentrações de O₃ na área de estudo e não devem ser vistos como resultados definitivos, mas sim passíveis de aprimoramento de acordo com o avanço do conhecimento sobre a qualidade do ar da região de Conceição do Mato Dentro.

Figura 8.16 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 Hora de O₃



O O_3 é classificado como um poluente atmosférico secundário por não ser diretamente emitido pelas indústrias e veículos, sendo formado na baixa atmosfera (troposfera) por reações fotoquímicas de óxidos de nitrogênio (NO e NO_2 , referidos como NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), na presença de luz solar. A relação entre O_3 , NO_x e COV é governada por uma complexa cadeia não linear de reações fotoquímicas.

A formação do O_3 foi inicialmente reconhecida como um problema de poluição atmosférica em Los Angeles, EUA, na metade do século 20. Atualmente, a poluição devido ao ozônio é um problema mundial e particularmente preocupante nas conurbações ou metrópoles, onde as emissões de poluentes precursores (COV e NO_x) é substancial.

O O_3 possui um considerável tempo de vida na atmosfera, podendo ser transportado para longas distâncias em relação às regiões onde foram emitidos seus precursores. A remoção do ozônio da troposfera ocorre por processos via fotólise, reação com radicais HO_x e através de deposição na superfície da Terra.

As maiores e mais comuns fontes dos poluentes precursores de O_3 (NO_x e VOC) são o tráfego de veículos e os processos industriais (combustão e evaporativos). A quantidade de O_3 formado depende da intensidade de luz solar, da concentração e da proporção $[VOC]/[NO_x]$ no ar ambiente. Segundo Monks et al. (2007), valores desta relação entre 4 e 10 são favoráveis para a formação de ozônio sob condições adequadas de radiação solar. No centro das conurbações e próximo às fontes emissoras, as concentrações de NO_x são em geral mais elevadas e portanto, pouco ozônio normalmente é formado; e parte do ozônio formado é consumido pelo NO emitido nas proximidades. Entretanto, quando a massa de ar se desloca e se afasta das regiões mais ricas em NO_x , ampliam-se as chances de formação de O_3 .

Devido às características de sua formação, as maiores concentrações de O_3 usualmente não ocorrem nos locais onde intuitivamente seriam esperadas, nos centros das cidades, áreas industriais, ou seja, próximo às maiores fontes emissoras de poluentes. As maiores concentrações de ozônio em geral são verificadas em subúrbios, áreas rurais e/ou áreas menos habitadas na periferia e a sotavento das grandes cidades. Este é um exemplo prático do efeito da não-linearidade do processo de formação do O_3 e sua remoção, que juntamente com seu transporte atmosférico, torna a compreensão da ocorrência de ozônio um problema extremamente complexo (Monks et al., 2007).

As concentrações de O_3 analisadas com base nos resultados da modelagem CMAQ apresentam elevada magnitude, inclusive com a identificação da potencialidade extrapolação dos padrões de qualidade do ar (CONAMA, 1990) em locais específicos da área de estudo. Nos pontos receptores são identificados concentrações de curto período (máximas médias de 1 hora) que variam desde $156 \mu g/m^3$, em Santo Antônio do Cruzeiro até $171 \mu g/m^3$, em Tabuleiro.

Para melhor compreender a variação das concentrações de ozônio na área de estudo, foi realizada uma análise de percentil, sendo possível de observar a frequência de ocorrência dos valores encontrados pela modelagem. A análise em questão é apresentada pela Tabela 8.10.

Na análise de percentis, em 99% do tempo as concentrações estão abaixo do padrão de qualidade do ar. Os picos de concentração, identificados na modelagem, representam concentrações com baixa frequência de ocorrência.

Ademais, dada à dificuldade de reprodução do O_3 via modelagem matemática, os resultados apresentados nesta seção devem ser vistos como um potencial da ordem de grandeza em que o poluente pode ocorrer na região, ressaltando a importância de seu monitoramento em uma estação para a confirmação ou não de tais suspeitas.

Observa-se que os picos de concentrações são eventos de baixa frequência. Com um percentil 95, ou seja, em 95% do tempo, as concentrações variam de 132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (82% do PQAr) em Tabuleiro a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (75% do PQAr) em Santo Antônio do Cruzeiro. Em 80% do tempo, a concentração máxima observada em Tabuleiro é inferior a 114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que representa 71% do padrão de qualidade do ar.

Tabela 8.10 – Percentil dos Máximos Acréscimos Médios de 1 Hora nas Concentrações de O_3 nos Pontos Receptores

Pontos Receptores		O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Percentis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
		Máxima 1 hora	99	95	90	85	80
Padrão de Qualidade do Ar ^a		160					
1	Três Barras	169	142	131	125	119	112
2	Tabuleiro	171	143	132	126	120	114
3	São José do Meloso	166	142	131	125	118	112
4	Conceição do Mato Dentro	171	143	131	124	118	111
5	Barro Vermelho	171	143	132	125	119	113
6	Itacolomi	169	142	131	125	120	114
7	Candeias	167	141	131	124	119	113
8	Dom Joaquim	165	142	130	123	115	105
9	São José da Ilha	169	142	130	124	117	110
10	Cabeceira do Turco	168	143	132	126	120	114
11	Ouro Fino	165	141	131	125	119	113
12	Gondó	166	143	132	126	120	113
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	168	144	133	126	121	114
14	Ferrugem	170	144	133	127	121	114
15	Beco	166	142	130	123	117	111
16	São José do Jassém	165	140	129	121	115	107
17	Água Quente	168	142	131	124	117	110
18	Córregos	166	142	132	125	119	112
19	Buritit	167	143	132	125	119	112
20	Taporoco	166	143	131	125	119	112
21	Gororós	159	140	127	118	109	100
22	São José do Arruda	166	142	130	123	117	110
23	Serra de São José	162	140	129	122	117	111
24	Alvorada de Minas	163	142	130	122	114	106
25	Itapanhoacanga	164	141	130	124	117	111
26	Santo Antônio do Norte	165	140	129	123	117	110
27	Santo Antônio do Cruzeiro	157	137	127	120	114	108

Notas:

- a. Resolução CONAMA nº 03 de 1990.

8.10. COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COV)

A Tabela 8.11 apresenta as máximas concentrações médias de 1 hora e as concentrações médias anuais de COV calculadas pelo modelo CMAQ em cada um dos pontos receptores discretos selecionados na área de estudo.

As Figuras 8.17 e 8.18 apresentam os cenários de qualidade do ar de COV para as máximas concentrações médias de 1 hora e para as concentrações médias anuais, respectivamente.

Tabela 8.11 – Concentrações de COV Avaliadas nos Pontos Receptores Discretos na Área de Estudo

Pontos Receptores		Concentração de COV [ppm]	
		Máxima de 1 hora	Média Anual
1	Três Barras	0,3	0,2
2	Tabuleiro	0,3	0,2
3	São José do Meloso	0,3	0,2
4	Conceição do Mato Dentro	0,3	0,2
5	Barro Vermelho	0,3	0,2
6	Itacolomi	0,3	0,2
7	Candeias	0,3	0,2
8	Dom Joaquim	0,3	0,2
9	São José da Ilha	0,3	0,2
10	Cabeceira do Turco	0,3	0,2
11	Ouro Fino	0,3	0,2
12	Gondó	0,3	0,2
13	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	0,3	0,2
14	Ferrugem	0,3	0,2
15	Beco	0,3	0,2
16	São José do Jassém	0,3	0,2
17	Água Quente	0,3	0,2
18	Córregos	0,3	0,2
19	Burititis	0,3	0,2
20	Taporoco	0,3	0,2
21	Gororós	0,3	0,2
22	São José do Arruda	0,3	0,2
23	Serra de São José	0,3	0,2
24	Alvorada de Minas	0,3	0,2
25	Itapanhoacanga	0,3	0,2
26	Santo Antônio do Norte	0,3	0,2
27	Santo Antônio do Cruzeiro	0,3	0,2

A Resolução CONAMA 03/1990 não estabelece padrões de qualidade do ar para os compostos orgânicos voláteis.

Considerando as máximas concentrações médias de 1 hora modeladas de COV, a maior influência foi verificada no ponto receptor Conceição do Mato Dentro, seguida pelo ponto receptor Alvorada de Minas.

Considerando as concentrações médias anuais modeladas de COV, a maior influência foi verificada nos pontos receptores Conceição do Mato Dentro, Barro Vermelho, Dom Joaquim, São José do Jassém, Gororós e Alvorada de Minas.

Figura 8.17 – Cenário Modelado de Máximas Concentrações Médias de 1 Hora de COV

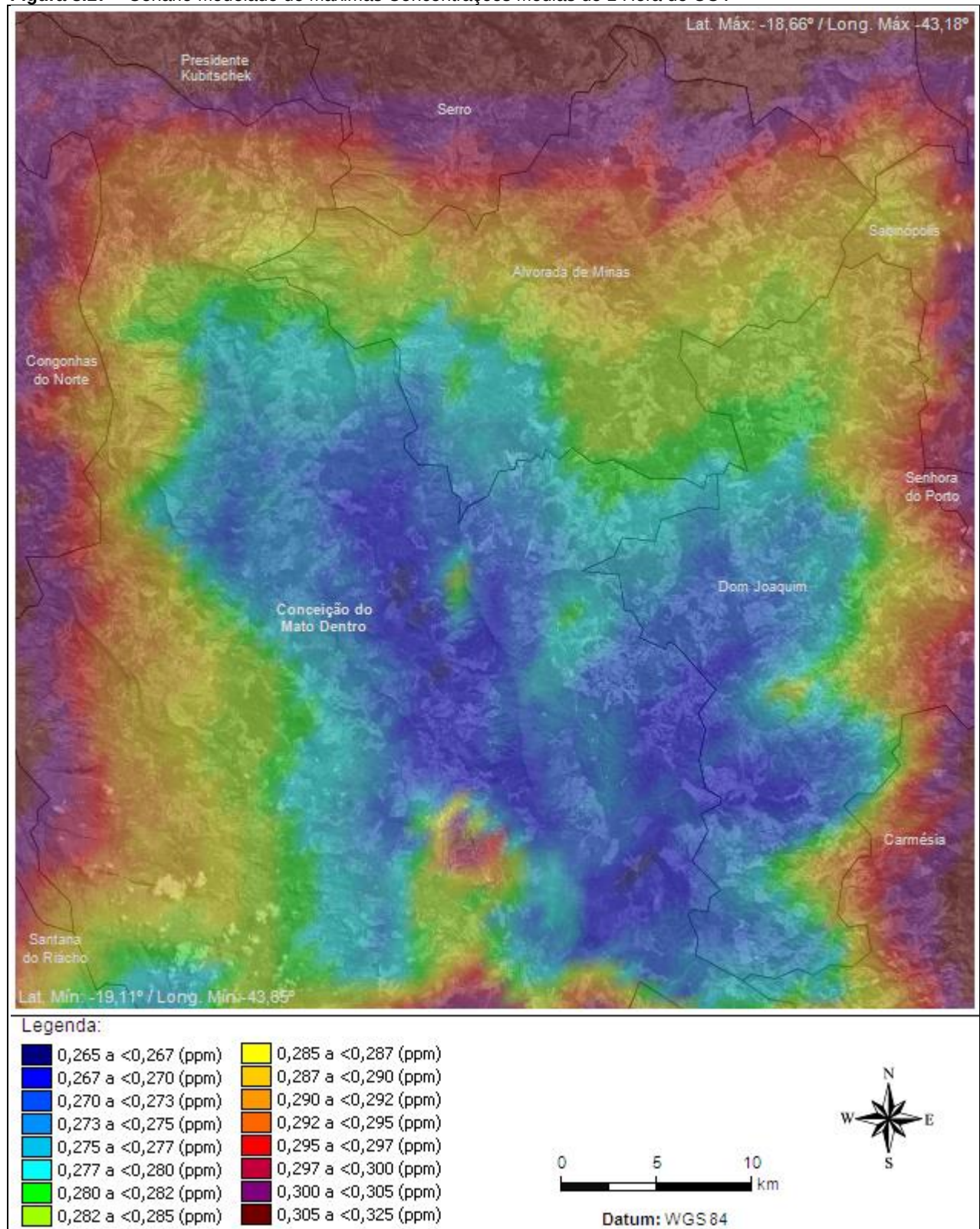
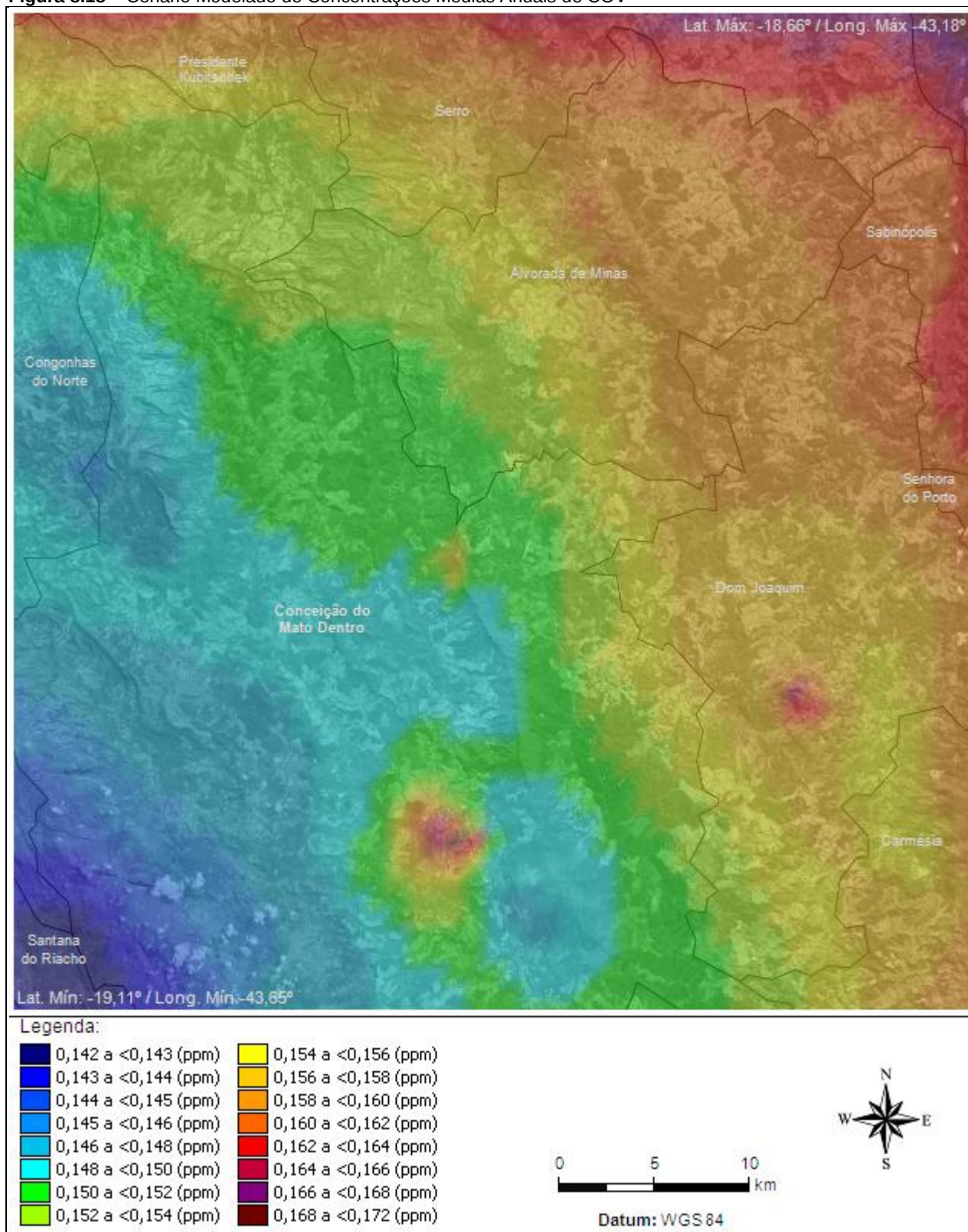


Figura 8.18 – Cenário Modelado de Concentrações Médias Anuais de COV



9. DIMENSIONAMENTO DA REDE AUTOMÁTICA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E METEOROLOGIA DE CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO

Para proporcionar o adequado conhecimento acerca da qualidade do ar na região de Conceição do Mato Dentro e como subsídio à estratégia de gestão efetiva do recurso ar na região, propõe-se o dimensionamento e a posterior implantação de uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM/CMD). O monitoramento do grau de exposição de uma região à poluição atmosférica deve ser realizado através de uma rede de medição projetada para tal fim, para garantir a representatividade e qualidade dos resultados.

As redes de monitoramento compostas por monitores homologados que operam de forma contínua proporcionam um conhecimento mais aprofundado e detalhado da qualidade do ar e das condições meteorológicas incidentes, propiciando uma gestão mais aprimorada dos recursos atmosféricos. Os dados são gerados com alta frequência e de forma padronizada, permitindo diversas aplicações, como por exemplo:

- ❑ Avaliações mais precisas da qualidade do ar a que a população está submetida, bem como a verificação contínua do atendimento dos padrões de qualidade do ar;
- ❑ Identificação de responsabilidades de determinadas fontes relativas à degradação da qualidade do ar;
- ❑ Identificação e resposta imediata a eventos extremos de poluição atmosférica;
- ❑ Observação de tendências e sazonalidades de curto e longo prazos;
- ❑ Correlação da qualidade do ar com a saúde da população, dentre outras aplicações.

O dimensionamento da rede de monitoramento emprega fundamentalmente o conhecimento obtido através dos cenários de qualidade do ar gerados através da modelagem de dispersão atmosférica, apresentados no Capítulo 8. A partir desses cenários, é possível identificar os setores potencialmente mais impactados da área a ser monitorada para cada poluente, bem como identificar as variações dos níveis desses poluentes atmosféricos no espaço e no tempo.

Além disso, outros critérios técnicos também são considerados no projeto da Rede de Monitoramento, conforme segue:

- ❑ Localização da Estação: prioriza-se a instalação das estações de monitoramento em regiões com maior densidade populacional e com maior potencial de ocorrência de níveis elevados de poluentes atmosféricos. Os locais de instalação devem ainda atender a critérios técnicos necessários ao sítio de medição, tais como, representatividade, livre circulação de ar, ausência de interferências locais, segurança dos equipamentos, disponibilidade de suprimento de energia, disponibilidade de meios de comunicação (telefonía), dentre outros aspectos.
- ❑ Composição das Estações: os parâmetros a serem monitorados (poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas) em cada estação de monitoramento devem ser estabelecidos de acordo com as reais necessidades locais, ou seja, nem todas as estações de medição precisam monitorar todos os parâmetros a serem cobertos pela RAMQAM. A composição das estações deve ser estabelecida em função dos objetivos da rede, a cobertura e eficiência de monitoramento desejada e a situação esperada relativa aos impactos esperados para cada poluente no espaço a ser monitorado (cenários de qualidade do ar gerados). Desta forma, produz-se uma rede denominada

de otimizada, onde os custos de implantação são minimizados, sem perda de qualidade, cobertura e confiabilidade da rede projetada.

- Implantação, Operação e Manutenção: tão importante quanto o dimensionamento adequado de uma RAMQAM é a sua implantação, operação e manutenção por toda a sua vida útil. A RAMQAM deve considerar em seu projeto tais aspectos citados, de forma a tornar viável, prático e com o menor custo operacional possível a manutenção desta rede.

As seções a seguir explicam a metodologia adotada no processo de dimensionamento da RAMQAM.

9.1. METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO DA RAMQAM-CMD

Estudos sobre a localização de estações de medição da qualidade do ar em áreas urbanas têm sido amplamente abordados na literatura, sobretudo no que diz respeito à localização otimizada desses monitores. Dentre as técnicas mais utilizadas, merecem destaque a minimização da função erro de interpolação (sendo tal função determinada pelo objetivo da rede de monitoramento); a técnica de minimização do limite superior da covariância do erro mínimo estimado; e a de seleção por tentativas, na qual são escolhidas as estações que apresentam maior sensibilidade na concentração medida, devido a perturbações na taxa de emissão das fontes poluidoras.

O método utilizado neste estudo utiliza o conceito de Figuras de Mérito e Esferas de Influência das estações, e baseia-se em uma proposta pragmática inicialmente desenvolvida por Langstaff (1987) e modificada por Santolim (1991). Este método se mostrou eficaz no projeto de redes de monitoramento da qualidade do ar nos Estados Unidos e na Europa, tendo sido utilizado com sucesso também no Brasil nas redes de Vitória-ES, Rio de Janeiro-RJ, Belo Horizonte-MG, Itabira-MG, Ipatinga-MG, Ouro Branco-MG, Província Mineral de Carajás-PA, Barra Mansa-RJ, Polo Gás Químico (Duque de Caxias-RJ), Volta Redonda-RJ, dentre várias outras localidades.

9.1.1. Figuras de Mérito

O objetivo do monitoramento da qualidade do ar para acompanhamento do índice de exposição da população não deve se limitar apenas à avaliação de concentrações máximas e médias, mas também à avaliação da variação espacial da concentração dos poluentes (gradientes) na área de interesse.

O grau de exposição para uma pessoa é definido como a concentração de poluente a que esse indivíduo tem contato. A dose, ou índice de exposição, é então relacionada à concentração e ao tempo de exposição do indivíduo.

O índice de exposição à poluição atmosférica é uma medida do grau de risco a que um indivíduo é submetido devido à exposição a um poluente específico durante determinado intervalo de tempo.

A formulação exata da função risco envolve muitas variáveis e muitas vezes não é conhecida para alguns poluentes de interesse. Sendo assim, neste trabalho, a função risco é aproximada por um modelo linear sem preocupação com valores limiares, ou seja, o índice de exposição é dado pela integral da concentração de poluente variando no tempo.

$$I_E = \int_0^t C(t) dt \quad (9.1)$$

onde:

I_E = índice de exposição;
 C = concentração de poluente;
 t = tempo de exposição ao poluente.

Aplicando a Equação 9.1 ao universo de cenários de qualidade do ar obtidos neste estudo podemos obter a equação básica para o cálculo da Figura de Mérito de uma célula da malha de modelagem:

$$F_{ij} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T C_{ijt} \quad (9.2)$$

onde:

F_{ij} = figuras de mérito;
 T = duração de um cenário meteorológico;
 C_{ijt} = concentração do poluente na célula (i,j) no tempo t.

Deve ser observado que a equação 9.2 aplicada a todo o universo de cenários de qualidade do ar se resume às médias do período modelado para cada um dos poluentes de interesse. Assim, as figuras de mérito são representadas pelos cenários de qualidade do ar de médias anuais apresentados no Capítulo 8.

9.1.2. Esferas de Influência

As Esferas de Influência (SOI) das estações são as áreas representadas (cobertas) por cada estação de monitoramento, com relação a um grupo pré-definido de fontes emissoras. O que se busca avaliar na determinação da esfera de influência é a área cujo comportamento de concentrações se apresente correlato aos registros avaliados em uma estação específica.

O rigoroso estabelecimento dessas áreas, ou seja, a definição das Esferas de Influência é uma tarefa complexa. Ele depende do método de reconstrução e interpolação utilizados e do campo de concentração dos poluentes de interesse.

Diferentes métodos de interpolação geram diferentes Esferas de Influência. Então, o método a ser usado no projeto da rede de medição deve ser compatível com o procedimento de interpolação a ser usado para a rede em operação.

A definição da esfera de influência, apresentada a seguir, é baseada no limite superior do erro de interpolação esperado, calculado a partir da estrutura de covariância espacial prevista para a região a ser monitorada.

A função do limite superior para o erro quadrático médio esperado da interpolação ótima é definido por:

$$E_u = \sigma_y \left[1 - \delta_{xy}^2 (1 + K)^{-1} \right]^{1/2} \quad (9.3)$$

onde:

δ_{xy} = correlação espacial entre a concentração no ponto previsto y e ponto previsor x;
 σ_y = desvio padrão da concentração no ponto previsto y;
 K = variância normalizada dos erros observacionais no ponto previsor x.

Da Equação 9.3 temos uma expressão para o limite inferior da variância total em y explicada pelo procedimento de interpolação em x:

$$\phi_{xy} = 1 - \frac{E_u^2}{\sigma_y^2} = \delta_{xy}^2 (1 + K)^{-1} \quad (9.4)$$

Para o caso de não existirem erros observacionais, $k=0$, a variância se iguala ao quadrado da correlação.

Define-se a Esfera de Influência de uma estação localizada em x , com um nível de eficiência (α), como sendo a área contínua ao redor de x que contém pontos y para os quais a variância da concentração é explicada pela concentração de x , ou seja, o conjunto contínuo de pontos y tais que $\phi_{xy} \geq \alpha$.

A variância explicada, ϕ_{xy} , é igual ao quadrado da função de correlação espacial, δ_{xy}^2 multiplicada por uma constante.

A função correlação espacial tipicamente decresce desde o valor 1, em $y = x$, com o aumento da distância entre x e y .

Por essas razões, ϕ_{xy} corresponde a uma medida natural para a determinação da Esfera de Influência para um dado local de monitoramento.

É importante notar que, por ser uma grandeza estatística, a análise da estimativa de δ_{xy} depende do tamanho da amostra. Consequentemente, os níveis de confiança baseados no tamanho da amostra deverão ser considerados.

Se superestimarmos δ_{xy} , as Esferas de Influência obtidas também deverão cobrir grandes áreas e, no final, a rede de medição não será densa o suficiente. Isto é levado em conta através do uso de limites inferiores de confiança para uma correlação estimada. O limite de confiança estipulado neste trabalho foi de 50% para os poluentes selecionados. Esse valor é considerado como o nível mínimo de eficiência satisfatório, proporcionando uma densa rede amostral, com capacidade de reconstrução do campo de medição com a qualidade necessária.

Se a distribuição básica de amostras desvia significativamente da normalidade e o número de amostras é pequeno, então um método auxiliar deve ser usado para calcular o limite de confiança.

Esses limites de confiança para o coeficiente de correlação são usados da seguinte forma: assume-se que o critério para o projeto ótimo de uma rede de monitoramento é a capacidade de capturar mais de α por cento das variações de concentração e que existem L amostras para estimar a correlação. Necessita-se então que $\phi_{xy} \geq \alpha$, da Equação 9.4 vem:

$$\delta_{xy} \geq [\alpha(1+K)]^{1/2} \quad (9.5)$$

Das cartas estatísticas de David (1938) determina-se o valor limite do coeficiente de correlação amostral, r_c , para o limite inferior da correlação de $[\alpha(1+K)]^{1/2}$ com 95% de nível de confiança e tamanho da amostra L .

Este leva a um valor de secção, ϕ_c , de ϕ_{xy} , onde $\phi_{xy} \geq \alpha$ com 95% de confiabilidade:

$$\phi_c = r_c^2(1+K)^{-1} \quad (9.6)$$

Nesta metodologia de projeto utilizada, a função ϕ_{xy} ao redor de cada uma das N estações selecionadas é computada ao longo de todas as direções radiais até que o valor ϕ_c seja excedido.

Uma vez que o valor de secção é determinado, a SOI pode ser definida para cada uma das estações candidatas como sendo os pontos da malha que formam uma área ininterrupta ao redor de cada estação definidos por $\phi_{xy} \geq \phi_c$.

A área total coberta pela rede de monitoramento para todas as N estações é dada pela combinação das esferas de influência de cada estação escolhida.

9.2. LOCAIS CANDIDATOS AVALIADOS

Para o monitoramento ser representativo, cobrindo as regiões que apresentam maiores potenciais de alteração da qualidade do ar, foram realizadas visitas técnicas na região de Conceição do Mato Dentro para mapear locais candidatos a sediar estações de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia.

Essa etapa é fundamental no processo de dimensionamento da rede, onde em cada local visitado foram identificados aspectos como condições mínimas de infraestrutura e área física, rede de energia elétrica e telefônica próxima, segurança dia e noite (possibilidade de restrição de acesso ao local da estação), ambiente aberto e ventilado (representativo da região no entorno) e desprovido de fontes poluidoras interferentes localizadas nas proximidades.

A Tabela 9.1 apresenta a listagem dos 25 locais candidatos identificados na região de estudo, juntamente com suas respectivas coordenadas. A Figura 9.1 apresenta a disposição espacial dos locais identificados na região de estudo.

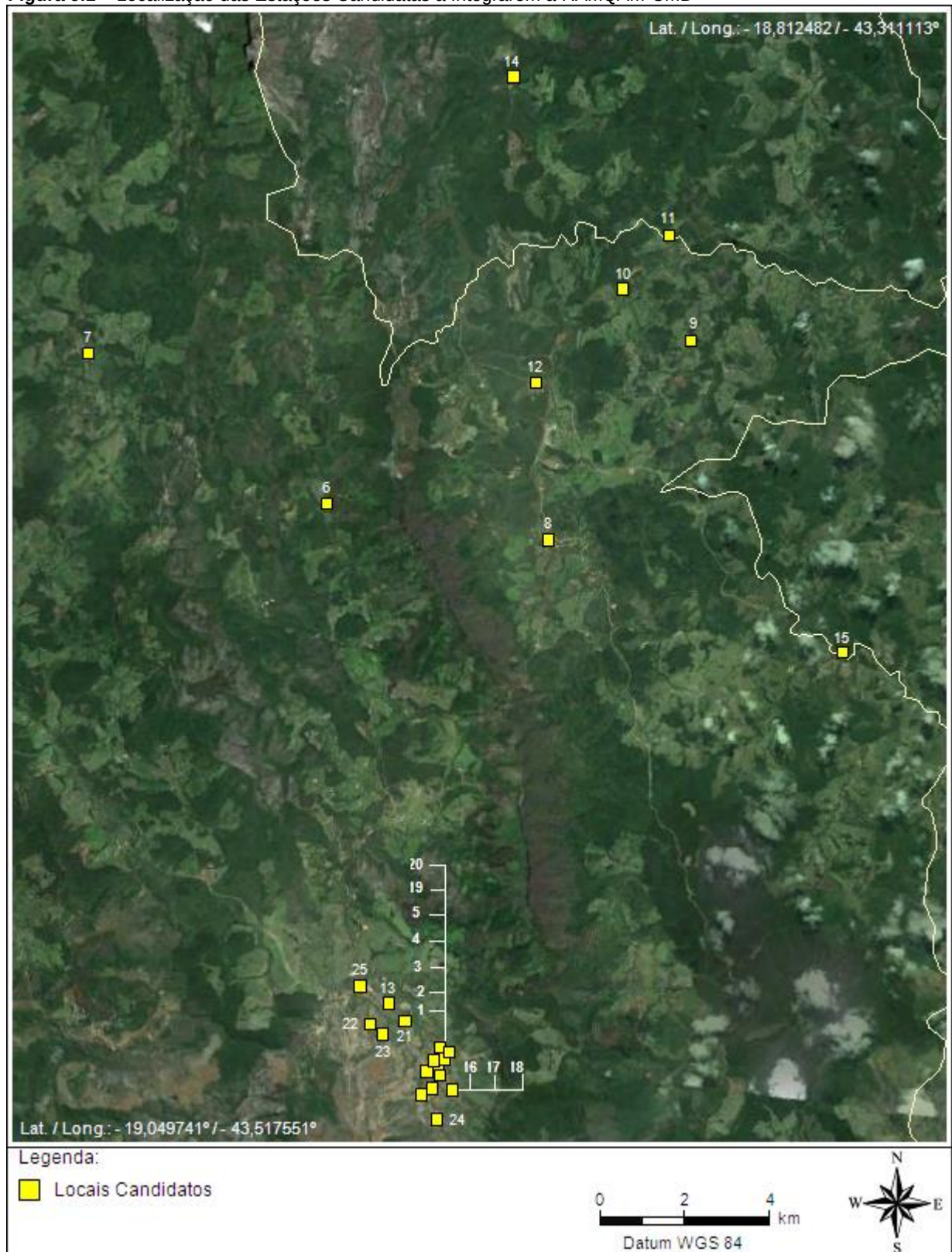
Tabela 9.1 - Locais Candidatos a Sedar Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da RAMQAM-CMD

Estação Candidata		Coordenadas ^a	
		Latitude (°)	Longitude (°)
1	Copasa - Ao lado do Santuário	-19,030792	-43,423467
2	Santuário de Bom Jesus do Matosinhos	-19,031670	-43,423687
3	Escola Estadual Mestre Sebastião Jorge	-19,030827	-43,422288
4	Escola Municipal Prof. João Lima	-19,035402	-43,424696
5	Câmara Municipal de Conceição do Mato Dentro	-19,034770	-43,424797
6	Comunidade de Gondó	-18,917150	-43,448118
7	Córregos	-18,885447	-43,501148
8	São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	-18,924297	-43,399233
9	Comunidade do Beco	-18,883225	-43,368188
10	Fazenda Cornélia	-18,872162	-43,383167
11	Comunidade de Água Quente	-18,861357	-43,372926
12	Estação Meteorológica Anglo American	-18,891500	-43,402355
13	Aeroporto CMD	-19,020367	-43,434176
14	Escola São José do Arrudas - Alvorada de Minas	-18,828263	-43,407499
15	Comunidade de São José da Ilha	-18,947842	-43,335543
16	Praça Dr. Nephtali Brandão	-19,038302	-43,425838
17	Garagem de Ônibus Serro	-19,039478	-43,427024
18	Copasa / Cruzeiro da Força	-19,038322	-43,420774
19	Praça Prefeito José Ribeiro Costa	-19,035347	-43,425723
20	Praça Dom Joaquim / Escola Daniel de Carvalho	-19,034597	-43,425730
21	Escola Aracy Pedrelina de Lima Oliveira	-19,024000	-43,431178
22	Escola Colegium	-19,025382	-43,438528
23	SENAI	-19,026477	-43,436684
24	Clube Social de CMD	-19,044605	-43,424286
25	Associação Atlético BB	-19,017232	-43,440684

Nota:

- a. Coordenadas aproximadas dos locais, a identificação exata deve ser feita em campo no momento da escolha do local exato de instalação da estação.

Figura 9.1 – Localização das Estações Candidatas a Integrarem a RAMQAM-CMD



A Figura 9.2 apresenta a vista atual dos locais candidatos a receberem as estações de monitoramento da RAMQAM-CMD.

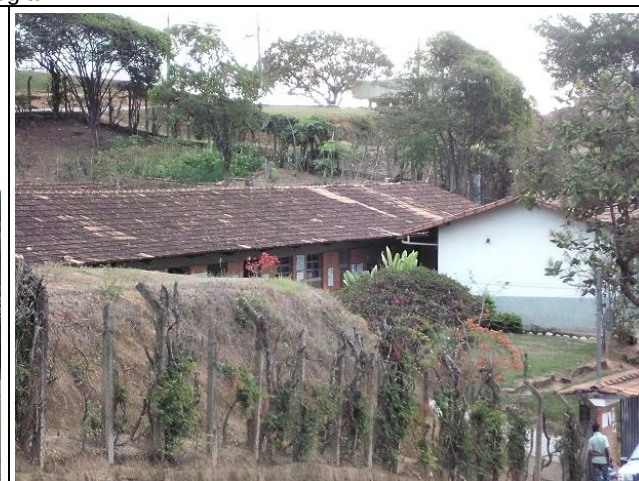
Figura 9.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sediarem Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia



(1) Copasa - Ao lado do Santuário



(2) Santuário de Bom Jesus do Matosinhos



(3) Escola Estadual Mestre Sebastião Jorge



(4) Escola Municipal Prof. João Lima



(5) Câmara Municipal de Conceição do Mato Dentro



(6) Comunidade de Gondó

Cont. Figura 9.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sediarem Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia



(7) Córregos



(8) São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)



(9) Comunidade do Beco



(10) Fazenda Cornélia



(11) Comunidade de Água Quente



(12) Estação Meteorológica Anglo American

Cont. Figura 9.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sediarem Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia



(13) Estação Aeroporto CMD



(14) Escola São José do Arrudas - Alvorada de Minas



(15) Comunidade de São José da Ilha



(16) Praça Dr. Nephtali Brandão



(17) Garagem de Ônibus Serro



(18) Copasa/Cruzeiro da Força

Cont. Figura 9.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sediarem Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia



(19) Praça Prefeito José Ribeiro Costa



(20) Praça Dom Joaquim / Escola Daniel de Carvalho



(21) Escola Aracy Pedrelina de Lima Oliveira



(22) Escola Colegium



(23) SENAI



(24) Clube Social de CMD

Cont. Figura 9.2 – Vista Atual dos Locais Candidatos a Sediarem Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia



(25) Associação Atlética BB

9.3. PROPOSTA DE CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DA RAMQAM-CMD

A RAMQAM-CMD foi dimensionada visando possibilitar o acompanhamento contínuo dos níveis de poluentes atmosféricos decorrentes das emissões de partículas oriundas das principais atividades poluidoras existentes na área de estudo.

A partir da análise do inventário de emissões atmosféricas realizado, bem como dos cenários de qualidade do ar gerados por modelagem matemática com o modelo CMAQ, observa-se a necessidade de monitoramento das concentrações de partículas em suspensão (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}) na atmosfera de maneira extensiva, pelo fato de serem caracterizadas como o principal poluente atmosférico da área de estudo, principalmente associado à atividade de mineração de ferro.

Não se faz necessário o monitoramento sistemático dos poluentes SO₂, NO₂, CO e COV na atualidade para a região estudada, devido às baixas concentrações esperadas para esses parâmetros.

Quanto ao poluente O₃, a modelagem indica o potencial de ocorrência de concentrações próximas aos limites legais estabelecidos. Entretanto, não foram identificadas na região fontes emissoras dos poluentes NO_x e COV (precursores da formação do O₃) cujo controle possibilitasse modificar tal cenário, o que se caracteriza como um fenômeno de grande escala.

O monitoramento do O₃ em uma estação é indicado para que seja iniciado o diagnóstico dos níveis desse poluente na atmosfera, e em um segundo momento, avaliar a necessidade de ampliar esse monitoramento.

Dentre os locais candidatos avaliados, foi escolhido o arranjo que combina as estações candidatas em posições de alto mérito e que proporcionam coberturas de monitoramento complementares na área de estudo.

A RAMQAM-CMD foi dimensionada para proporcionar a cobertura com 50% de eficiência do núcleo urbano de Conceição do Mato Dentro, além das comunidades de Córregos e São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo), próximas ao empreendimento da Anglo American. A Tabela 9.2 apresenta a configuração proposta para a RAMQAM-CMD.

Além das estações de monitoramento da qualidade do ar, a RAMQAM-CMD deverá integrar sensores meteorológicos em duas estações de superfície, estações Conceição do Mato Dentro e meteorológica Anglo American.

Tabela 9.2 – Configuração das Estações de Monitoramento da RAMQAM-CMD e os Respectivos Parâmetros Monitorados

Estação	Qualidade do Ar				Meteorologia						
	PTS	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	DV	VV	PP	PA	RS	TA	UR
Córregos	X	X	X								
São Sebastião do Bom Sucesso (Sapo)	X	X	X								
Aeroporto CMD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Anglo American					X	X	X	X	X	X	X

Legenda:

PTS – Partículas Totais em Suspensão

PM₁₀ – Material Particulado <10 µm

PM_{2,5} – Material Particulado <2,5 µm

DV – Direção do Vento

VV – Velocidade do Vento

PP – Precipitação Pluviométrica

PA – Pressão Atmosférica

RS – Radiação Solar Global

TA – Temperatura do Ar

UR – Umidade Relativa do Ar

A proposta de composição da rede prioriza a utilização de sítios de medição em locais de maior mérito, ou seja, áreas habitadas sujeitas à maior influência das emissões das fontes emissoras na área de estudo, bem como a utilização de locais que proporcionem maiores áreas de cobertura quanto a abrangência de monitoramento.

Para compor a RAMQAM-CMD, recomenda-se a utilização de equipamentos e sensores de medição contínua, automatizados e certificados internacionalmente, tanto para a medição dos poluentes atmosféricos quanto para as variáveis meteorológicas.

Para compor a RAMQAM-CMD, recomenda-se o monitoramento da qualidade do ar e meteorologia de forma automática por ser uma excelente ferramenta de subsídio à gestão dos recursos atmosféricos, uma vez que a alta frequência dos dados monitorados permite uma série de aplicações, tais como: avaliação sazonal mais eficiente; uma rápida resposta no registro de eventos extremos de poluição atmosférica; registro histórico da qualidade do ar; correlação da qualidade do ar com a saúde da população e verificar o atendimento dos padrões de qualidade do ar.

O monitoramento manual apresenta um indicador médio de 24h, geralmente, a cada seis dias. Além dessa baixa frequência na obtenção dos dados, o método manual contém uma sequência de etapas de manipulações laboratoriais na determinação da concentração do poluente em que podem ocorrer alguns desvios e influenciar no resultado da análise.

Para exemplificar a situação, enquanto uma estação manual gera em média 4 registros de concentrações médias de 24h de PTS por mês, uma estação automática possibilita a geração de 720 registros médios horários no mesmo período de 1 mês. Ou seja, a estação automática monitora de maneira ininterrupta 24 horas por dia.

A implementação da RAMQAM-CMD permitirá a substituição da atual rede de monitoramento manual com ganho de qualidade de informação, incluindo as melhorias a seguir:

- ❑ Incremento dos parâmetros monitorados, visto que serão incluídos o monitoramento do $PM_{2.5}$, O_3 que não são monitorados atualmente;
- ❑ Aumento da densidade amostral, com geração de dados continuamente e de forma ininterrupta, possibilitando o acompanhamento contínuo das condições de qualidade do ar e verificação do atendimento aos padrões;
- ❑ Monitoramento síncrono das concentrações de todos os parâmetros e condições meteorológicas. O que permite a apreensão do conhecimento integrado das variáveis de interesse para o controle e aprimoramento da qualidade do ar da região.

As Figuras 9.3 a 9.6 apresentam a composição e cobertura espacial da RAMQAM-CMD. O arranjo geral das estações de monitoramento é apresentado na Figura 9.7 e a vista atual dos locais propostos para a instalação das estações é apresentado na Figura 9.8.

Figura 9.3 – Cobertura Espacial da Rede Automática de Monitoramento de PTS da RAMQAM-CMD - Eficiência de Cobertura de 50%

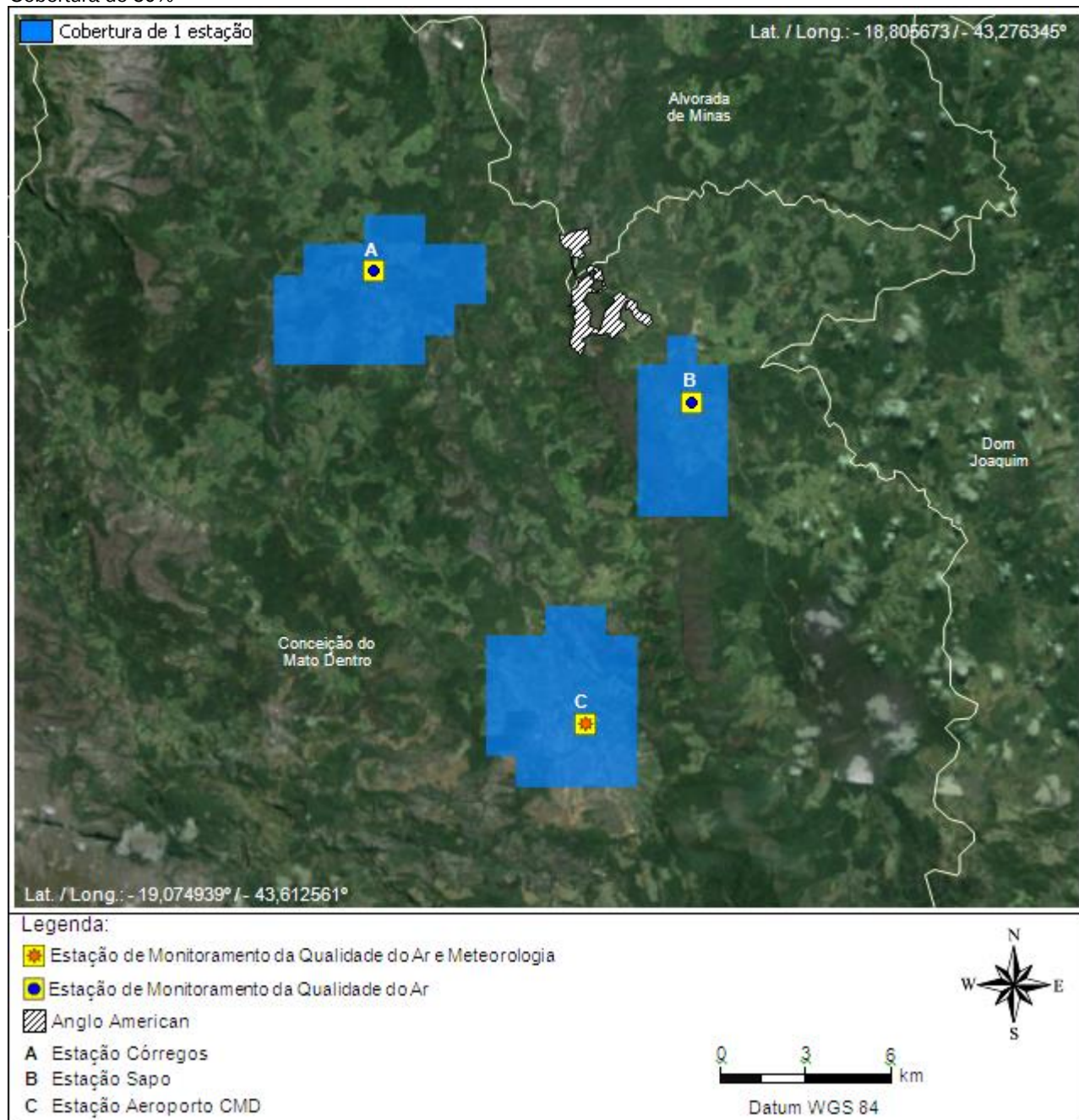


Figura 9.5 – Cobertura Espacial da Rede Automática de Monitoramento de PM_{2.5} da RAMQAM-CMD - Eficiência De Cobertura de 50%

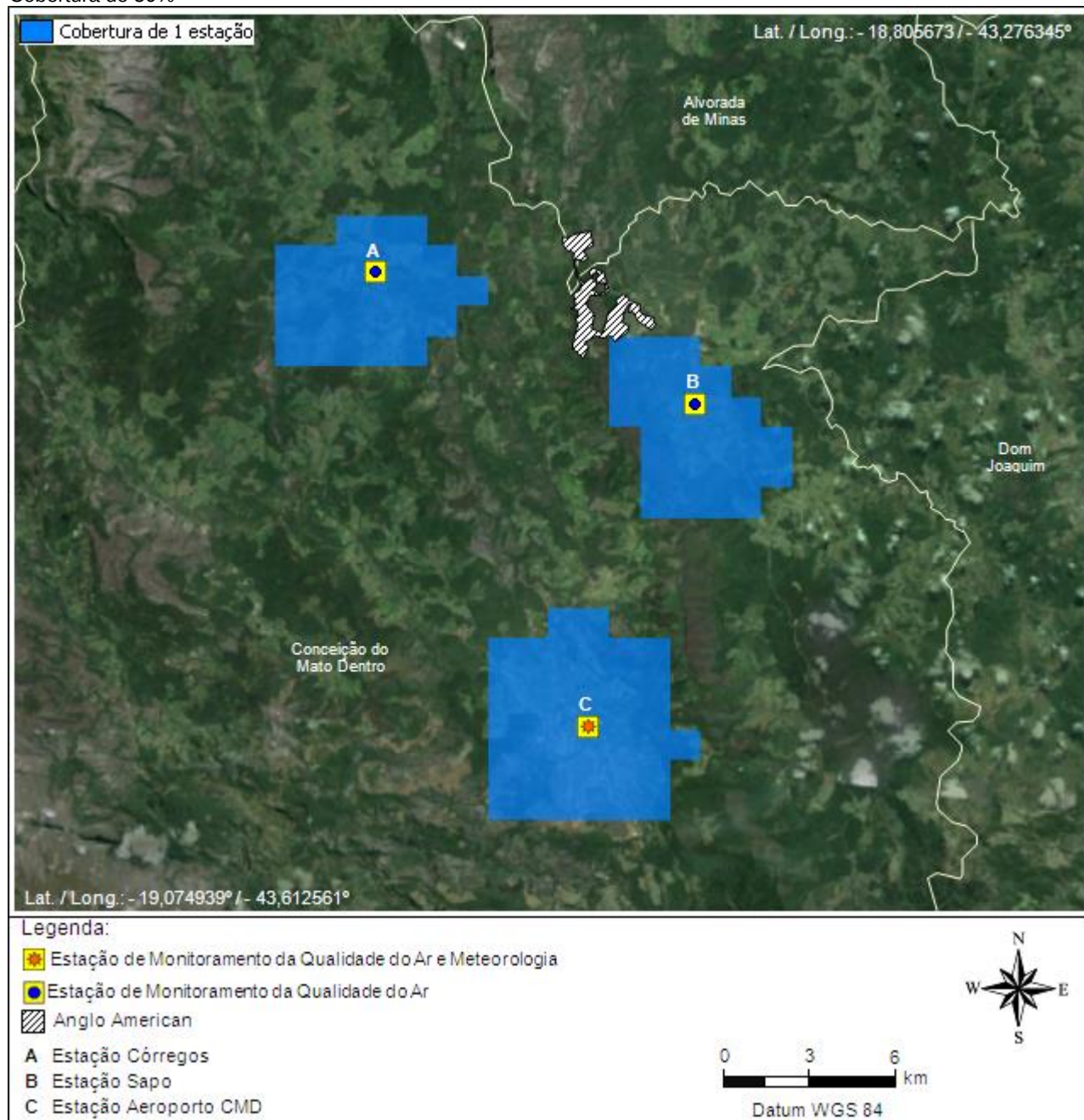


Figura 9.6 – Cobertura Espacial da Rede Automática de Monitoramento de O₃ da RAMQAM-CMD - Eficiência De Cobertura de 50%

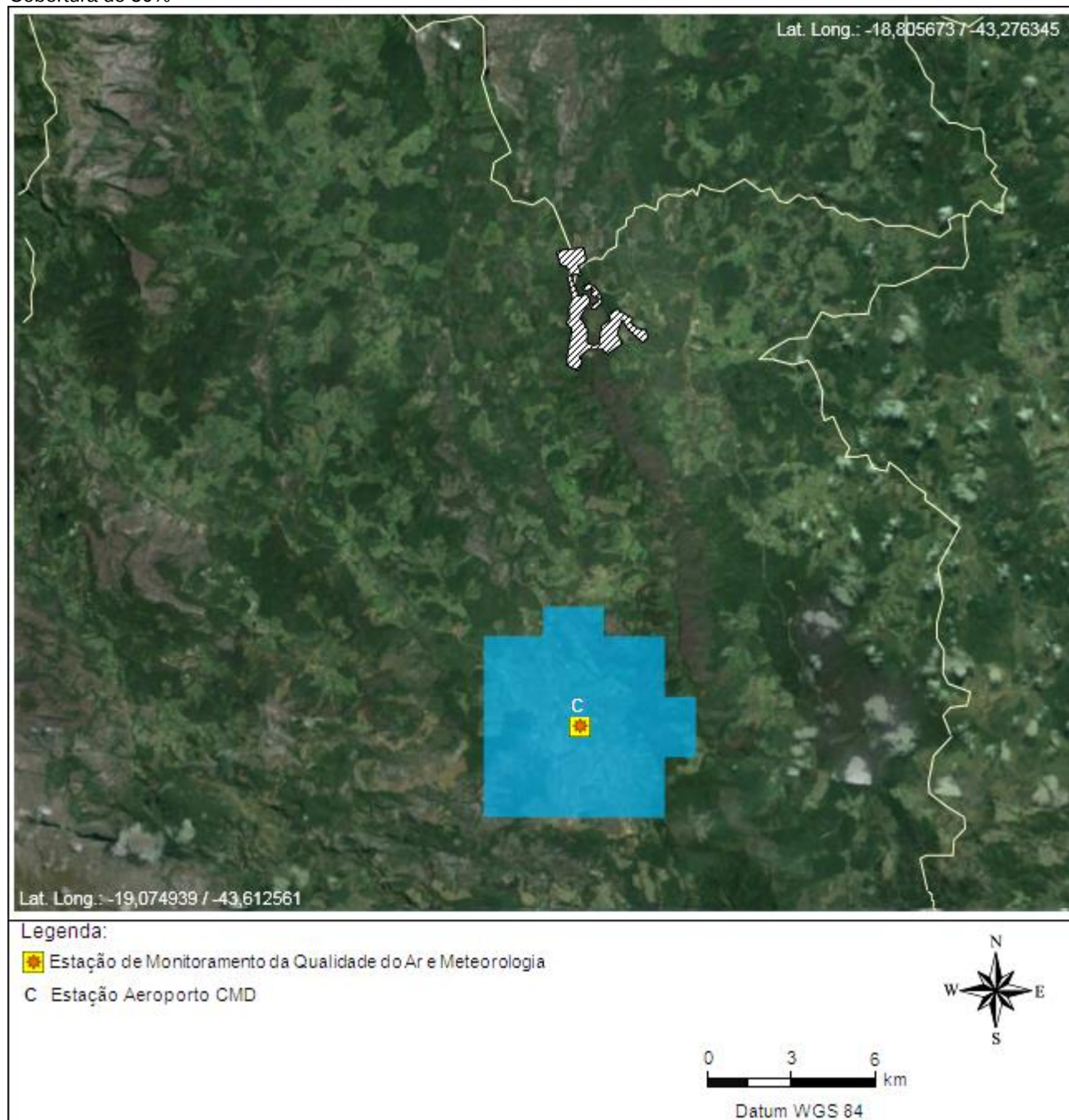


Figura 9.7 – Arranjo Geral da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Conceição do Mato Dentro (RAMQAM-CMD)

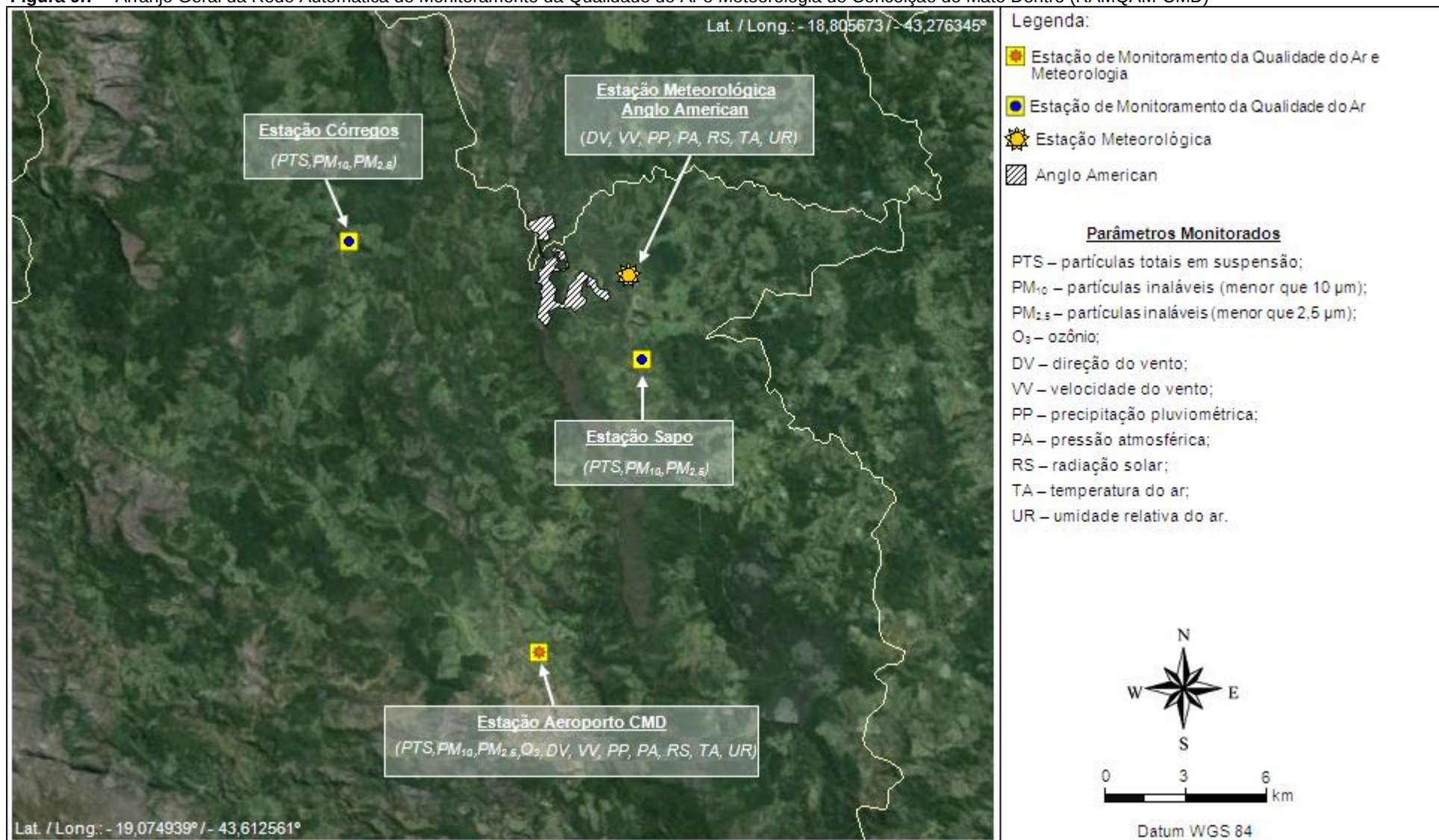
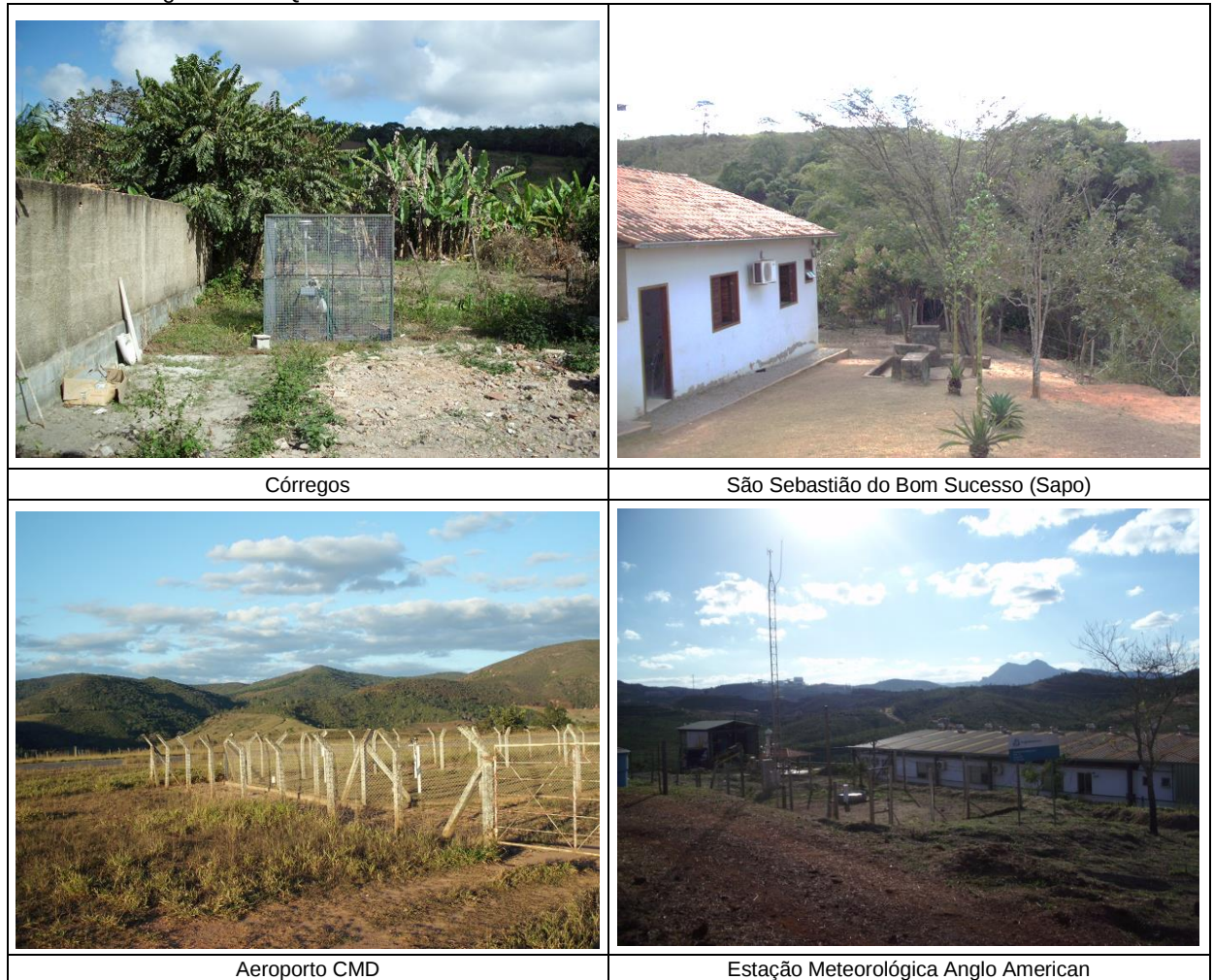


Figura 9.8 – Vista Atual dos Locais Selecionados para Sediarem as Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia da RAMQAM-CMD



9.4. ESPECIFICAÇÕES DAS TECNOLOGIAS DOS EQUIPAMENTOS DA REDE DE MONITORAMENTO

As especificações dos analisadores de concentrações de poluentes atmosféricos e acessórios descritas a seguir, foram elaboradas com base nas tecnologias de medição mais modernas disponíveis no mercado mundial de fabricantes de equipamentos de monitoramento da qualidade do ar, devendo ser consideradas como requisitos mínimos a serem observados no momento da aquisição dos mesmos.

9.4.1. Analisadores de Qualidade do Ar

a. Partículas Totais em Suspensão

Princípio de Medição Utilizado: absorção de raios β ou microbalança.

Monitor Beta: A absorção de raios beta que passam através da matéria depende, sobretudo, da massa analisada. Uma amostra de ar contendo partículas totais em suspensão é forçada a passar por um determinado período através de um filtro limpo a uma vazão controlada. A leitura de absorção de raios beta é feita no início e no fim de cada ciclo

de medição, sendo a diferença de leitura proporcional à massa de partículas retidas no material filtrante.

Faixa de Medição: 0 - 0,25 / 0,5 mg/m³

Limite Inferior de Detecção: máximo de 10 µg/m³ para ciclo de 60 minutos

Ciclos de Medição: 30 min / 1 / 3 / 12 / 24 h

Exatidão: ± 10,0 % da leitura para ciclo de 60 min

Radiação Máxima da Fonte de Raios Beta: 100 µCi

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA

Porta de Comunicação: serial, padrão RS 232

Temperatura de Operação: 0 - 40° C

Alimentação: 127 V - 60 Hz

Display: digital

b. Material Particulado Menor que 10 µm e Menor que 2.5 µm

Princípio de Medição Utilizado: absorção de raios β ou microbalança.

O monitoramento de PM₁₀ e PM_{2.5} é realizado utilizando os mesmos princípios de medição recomendados para Partículas Totais em Suspensão (PTS), ou seja, absorção de raios beta ou microbalança. A diferença entre os instrumentos é que, para a medição de PM₁₀ e PM_{2.5}, é necessária a instalação de uma sonda com fracionador para triagem da fração fina das partículas existentes no ar ambiente.

c. Ozônio (O₃)

Princípio de Medição Recomendado: absorção de ultravioleta.

A medição de ozônio pelo princípio citado baseia-se no fato de que o mesmo absorve energia luminosa ultravioleta. Então é possível medir a concentração de O₃ presente em uma amostra de ar ambiente pela diferença entre a quantidade de energia luminosa específica emitida por uma fonte e recebida por um sensor localizado em extremidade oposta ao caminho ótico atravessado que contém a amostra de ar.

Faixa de Medição: 0 - 0,1 / 0,25 / 0,5 / 1 ppm;

Limite Inferior de Detecção: 1,0 ppb;

Repetibilidade: ± 1,0 % FS;

Linearidade: ± 2,0 % FS;

Desvio do zero: ± 2,0 ppb/semana;

Desvio do SPAN: ± 2,0 % FS/semana;

Tempo de Resposta: 120 s (máximo);

Alarmes: para todas as falhas de funcionamento de funções vitais do monitor;

Saídas Analógicas: 4 - 20 mA;

Porta de Comunicação: padrão RS 232;

Temperatura de Operação: 0 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Display: digital.

Acessório Obrigatório: recomenda-se que o monitor de O₃ disponha internamente de uma unidade de geração de O₃ para permitir a autogeração de gás padrão usada na calibração e aferição do monitor.

Possíveis Acessórios: dependendo do fabricante do equipamento, pode ser necessária a aquisição adicional de uma unidade de geração de ar zero para o monitor de O_3 , sendo que a maioria dos fabricantes já inclui esse dispositivo internamente em seus aparelhos.

d. Sonda Amostradora de Gases

Utilizada para captar e condicionar continuamente amostra externa de ar e conduzir ao monitor de O_3 , evitando a entrada de corpos estranhos nos instrumentos de medição. Deve ser revestida internamente de material inerte (relativo aos gases amostrados), evitando interferências na medição. Deve ser dotada de dispositivos que permitam a fácil limpeza periódica manual da mesma e dispor de sistema de aquecimento ou outro dispositivo capaz de evitar a condensação de umidade nas paredes da sonda.

e. Rack de Suporte dos Instrumentos de Medição

É recomendada a utilização de rack para a instalação adequada de um ou mais monitores no interior de uma estação, racionalizando o espaço interno da mesma, facilitando a montagem e a manutenção dos aparelhos de medição e ainda oferecendo proteção adicional aos mesmos. Recomenda-se a aquisição desses suportes principalmente no caso de estações com maior número de monitores instalados.

f. Unidade de Calibração Multigás

Para garantir o funcionamento adequado do monitor de O_3 automático citado acima é fundamental que o mesmo sejam sistematicamente calibrado, através da injeção de gás correspondente a concentrações conhecidas na unidade amostradora, denominado gás padrão ou span.

Essa amostra de gás padrão deve ser gerada com concentrações dentro da escala de leitura dos monitores e com exatidão compatível com a do monitor, de modo a permitir a obtenção das especificações de desempenho de funcionamento previstas para a unidade medidora. É muito interessante que esse tipo de dispositivo permita ainda a geração de gás padrão em múltiplas concentrações a partir de um único cilindro do gás padrão concentrado. Isto permitirá a calibração eventual da curva de resposta do monitor à calibração multiponto, permitindo a verificação da linearidade da mesma, o que não pode ser checado na calibração com um único ponto.

Alguns fabricantes, em caráter opcional ou obrigatório, já incluem internamente em seus monitores de gases unidades de geração de gás padrão (tubos de permeação), eliminando a necessidade de cilindros de gás e unidades de diluição para calibração remota ou local do monitor. No entanto, a configuração mais usualmente empregada e recomendada é aquela constituída de cilindros de gás padrão concentrados, que são diluídos com ar zero para uma ou mais concentrações pré-especificadas, utilizando-se uma unidade de diluição semi-automática ou automática.

Outra opção aceitável que elimina a necessidade do uso de unidades de calibração é a utilização de cilindros de gás padrão já na concentração de span. Essa opção, apesar de mais econômica inicialmente, em geral, mostra-se mais onerosa com o passar do tempo, pois o consumo de gás padrão sem diluição é bem maior que no caso concentrado e o preço da recarga do cilindro é similar para o gás diluído ou concentrado. Além do mais, gases diluídos tendem a ser mais instáveis que os concentrados, apresentando eventuais deteriorações ao longo do tempo, ou seja, menor prazo de validade.

Aplicações: vazão de ar de diluição regulável de 30 a 300 l/h, ou razão de diluição de 1:12 a 1:9.000;

Exatidão de Ajuste de Diluição: $\pm 1\%$;

Repetibilidade: $\pm 0,2\%$;

Tempo de Resposta: 120 segundos (máximo);

Temperatura de Operação: 10 - 40° C;

Alimentação: 127 V - 60 Hz;

Unidade de Geração de Ozônio: incluída internamente no aparelho (opcional);

Notas:

- Para os monitores automáticos de PTS, PI e PM_{2,5} são utilizados placas ou pastilhas de calibração que simulam determinada concentração de poluente, que devem ser providas pelo mesmo fabricante do monitor;
- Caso a unidade de calibração multigás não contenha o gerador de Ozônio este equipamentos deverá ser adquirido à parte porque cumpre função essencial no processo de calibração dos analisadores de gases das estações de monitoramento.

g. Unidade de Geradora de Ar Zero

Unidade geradora de ar zero para a calibração de instrumentos analíticos.

Este equipamento é necessário para a geração de ar zero necessário para a diluição realizada na unidade de calibração multigás analisadores de gases de cada estação.

9.4.2. Sensores Meteorológicos

a. Direção do Vento

Princípio de Medição Utilizado: biruta (vane) com pás balanceadas

Faixa de Medição: 0 - 360°

Limite Inferior de Detecção: 0,5 m/s (ponto de partida)

Exatidão: $\pm 5^\circ$ para velocidade acima de 3 m/s

Temperatura de Operação: 0 - 50 °C

Acessório Obrigatório: torre basculante ou telescópica para fixação do anemômetro (mesma acima)

b. Velocidade do Vento

Princípio de Medição Utilizado: anemômetro de conchas

Faixa de Medição: 0 - 45 m/s

Limite Inferior de Detecção: 0,5 m/s (ponto de partida)

Exatidão: $\pm 0,25$ m/s para faixa de 0,5 a 5 m/s e $\pm 2\%$ FS para velocidade acima de 5 m/s

Temperatura de Operação: 0 - 50° C

Acessório Obrigatório: torre basculante ou telescópica para fixação do anemômetro

Altura de Medição: 10 m acima do solo

c. Precipitação Pluviométrica

Princípio de Medição Utilizado: pluviômetro de gangorra

Faixa de Medição: 0 - 100 mm/h

Exatidão: $\pm 1\%$ da leitura

Acessório Obrigatório: base de sustentação do pluviômetro.

d. Pressão Atmosférica

Princípio de Medição Utilizado: transdutor estável de pressão

Faixa de Medição: 26 a 32" Hg

Exatidão: $\pm 0,04$ Hg ($\pm 1,35$ mb) ou $\pm 0,125\%$ FS

Temperatura: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Montagem: Montado a 1,50 m de altura em torre telescópica

e. Radiação Solar

Princípio de Medição Utilizado: piranômetro (espectro na faixa de 400 a 1100 nm)

Faixa de Medição: 0 – 1.400 W/m²

Exatidão: $\pm 5\%$ FS

Acessório Obrigatório: base de sustentação do piranômetro.

f. Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Princípio de Medição Utilizado: termistor e sensor capacitivo

Faixa de Medição: -20 a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 0 a 100%

Exatidão: $\pm 0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\pm 3\%$

Acessório Obrigatório: base de sustentação e abrigo para o sensor

Altura de Medição: 3 m e 10 m acima do solo

9.4.3. Equipamentos para a Aquisição e Telemetria de Dados de Qualidade do Ar e Meteorologia

Todos os dados gerados nas estações de monitoramento pelos monitores contínuos de qualidade do ar e meteorologia são medidos como médias horárias e armazenados temporariamente na estação por um período mínimo de 30 dias. Eles permitem a telemetria dos dados em memória para o Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar (CSMQA).

Cada estação de monitoramento dispõe de sistemas de aquisição de dados compatíveis com o tipo e número de sinais gerados pelos monitores de qualidade do ar e meteorologia instalados, e sistema de comunicação digital quase simultânea com o CSMQA.

Os dados coletados atualmente nas estações de monitoramento são enviados ao CSMQA por GPRS. Essa tecnologia poderá ser alterada devido à realocação das estações e de acordo com a disponibilidade de conexão nesses locais. Dentre as várias tecnologias, destacam-se:

- ☐ GSM (GPRS);
- ☐ Linha telefônica convencional discada;
- ☐ Internet (linha convencional + ADSL);
- ☐ Rádio;
- ☐ Redes locais (fibra ótica, wireless, etc.).

9.4.4. Características das Estações Remotas

Sistema de Aquisição de Dados: é constituído de *datalogger* com entradas analógicas e/ou digitais (número de entradas variável de acordo com o número de sinais de cada estação), com intervalo de aquisição de dados máximo de 10 s, cálculo interno e armazenamento automático de médias horárias para cada parâmetro registrado; entradas lógicas para aquisição e registro de estado dos monitores (alarmes de falhas de funcionamento e calibração); capacidade de armazenamento das médias horárias medidas nos últimos 30 dias ou mais; dispositivo para comunicação com CSMQA (modem, GPRS, placa de rede, etc.); 127 V, 60 Hz. Este sistema é compatível com o software de coleta de dados adotado, de modo que permita a busca remota dos dados na estação pelo CSMQA.

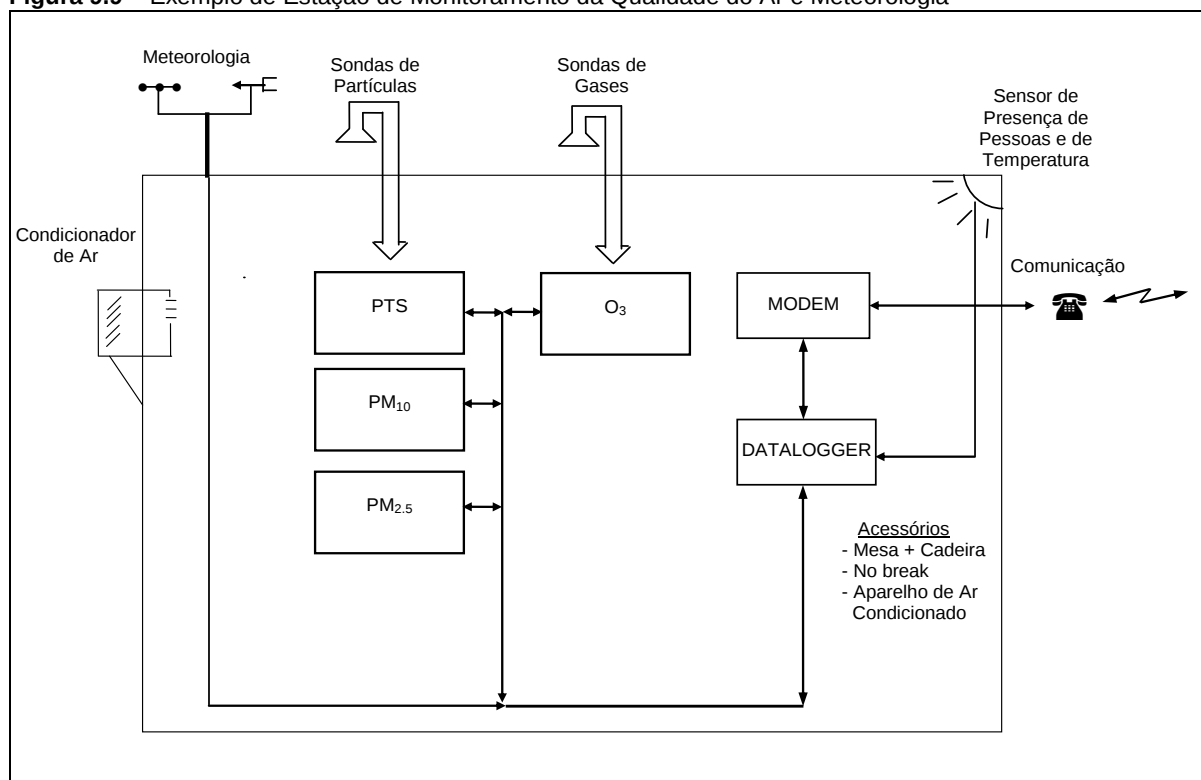
No Break Estabilizado: para alimentação contínua do Sistema de Aquisição de Dados; 127 V, 60 Hz, 1000 VA; com autonomia mínima de 30 minutos e com 100 % da carga.

Linha Telefônica: atualmente é utilizado um dispositivo móvel de telefonia celular (GPRS) para conexão e telemetria de dados até o CSMQA. A conexão via celular pode ser substituída ainda por outro meio que possibilite a comunicação de dados com as estações, por exemplo, rede local, rádio, internet ou telefonia fixa.

Sensores de Temperatura Interna da Estação e Presença de Pessoas: os sinais coletados por estes sensores são transmitidos através do datalogger ao CSMQA, o qual dispõe de alarme de aviso ao operador quando limites pré-estabelecidos destes parâmetros forem atingidos ou quando houver a presença de pessoas na estação.

A Figura 9.9 ilustra o exemplo esquemático de configuração para uma estação de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia. Nesta figura é apresentada uma estação típica, incluindo analisadores de qualidade do ar e sensores meteorológicos.

Figura 9.9 – Exemplo de Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia



9.4.5. Características do Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar

Computador 1: tipo PC, dedicado exclusivamente à conexão sistemática com as estações de monitoramento da rede via linha discada, rádio, internet, rede local ou outro meio de comunicação para aquisição de dados gerados, validação automática de dados, transmissão automática dos dados válidos recebidos ao banco de dados e retransmissão até a Central de Dados da FEAM, cujos requisitos mínimos são:

- ❑ processador Pentium Core 2 Duo ou posterior;
- ❑ HD 500 GB;
- ❑ monitor colorido 19" SVGA;
- ❑ 4 GB memória RAM;
- ❑ modem 56 kbps V90 (se utilizada comunicação por modem);
- ❑ placa de rede padrão Ethernet 1Gbps;
- ❑ sistema operacional Windows XP Pro ou posterior;
- ❑ 127 V, 60 Hz;
- ❑ software para aquisição de dados das estações, envio de dados para a FEAM, validação primária e inserção automática dos mesmos no banco de dados da RAMQAM-CMD.

Computador 2: com a mesma configuração do computador 1, este computador será utilizado para a pós-validação manual de dados gerados pela rede, análise estatística de informações monitoradas pela rede, geração de relatórios de qualidade do ar, construção de campos de ventos, reconstrução do campo de poluentes, gestão de fontes emissoras de poluentes atmosféricos, dentre outras.

No Break Estabilizado: para alimentação contínua dos 2 computadores do Centro Supervisório; 127 V, 60 Hz, 2 kVA; com autonomia mínima de 30 minutos, com 100 % da carga.

Banco de Dados: o CSMQA deverá utilizar o banco de dados corporativo acessível pela rede local instalada, ou outro banco específico para o aplicativo de gestão e coleta de dados, de forma a garantir o armazenamento adequado do volume de informações a ser gerado continuamente pela RAMQAM-CMD.

9.4.6. Fluxo de Dados

Conforme mencionado anteriormente, recomenda-se que a RAMQAM-CMD seja dotada de um Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar (CSMQA), que receberá 24 horas por dia, via telemetria, todos os resultados gerados pelos instrumentos de medição.

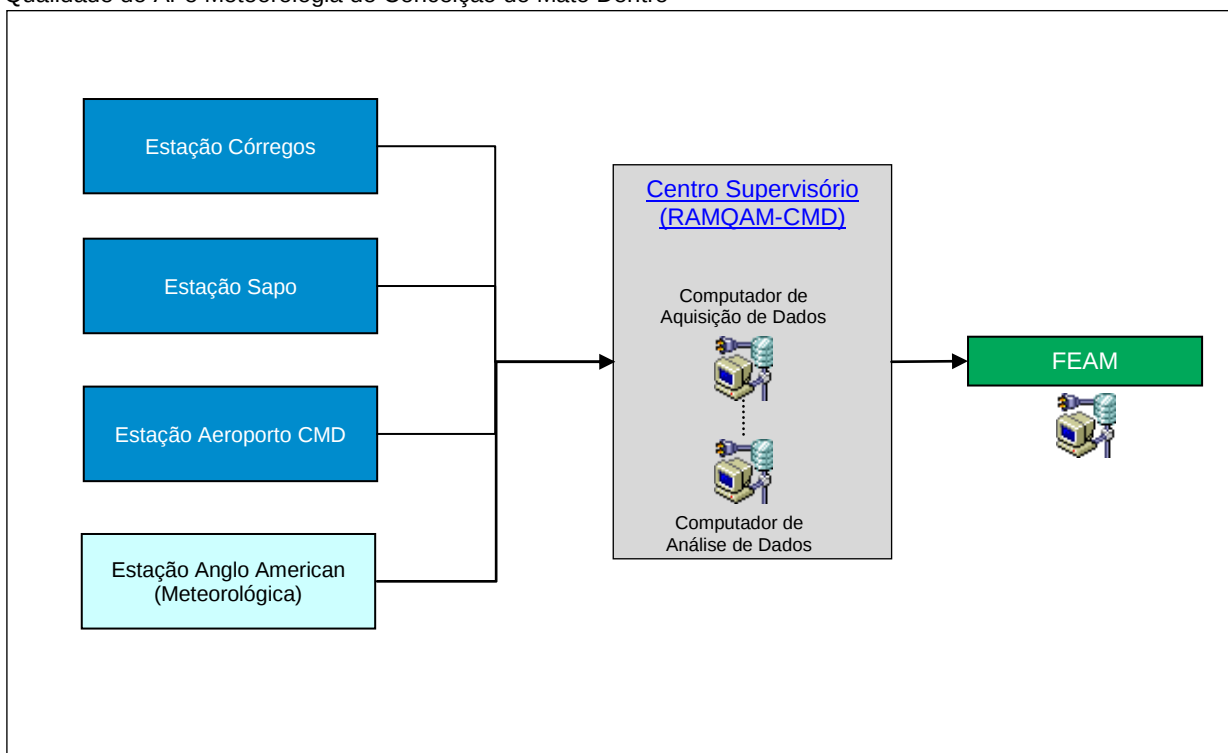
A RAMQAM-CMD proposta irá proporcionar o monitoramento contínuo dos níveis de concentração de poluentes na área de estudo. Como nas redes automáticas de outras regiões brasileiras e conforme recomendações da EPA e também adotadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, as medições devem ser integradas e armazenadas como médias horárias em coletores de dados (*dataloggers*) existentes em cada estação de medição.

A partir dos coletores de dados (*dataloggers*) das estações de medição, os dados devem ser automaticamente transferidos a cada hora para um Centro Supervisório de Monitoramento da Qualidade do Ar (CSMQA). Este centro deverá manter um banco de dados das informações atuais e históricas obtidas pelas estações, proporcionando a análise integrada no espaço e no tempo, bem como a validação de todas as informações geradas pela rede.

Recomenda-se a utilização no CSMQA de sistemas (softwares) especializados na coleta automatizada e gestão de redes de monitoramento ambiental, devendo tais sistemas ser compatíveis com os aplicativos atualmente instalados na FEAM-BH (sistemas Atmos e Migris), possibilitando uma integração facilitada com o órgão ambiental e o pleno aproveitamento dos dados gerados pela RAMQAM-CMD na gestão da qualidade do ar.

A Figura 9.10 apresenta o diagrama esquemático do fluxo de informações da RAMQAM-CMD.

Figura 9.10 – Diagrama Esquemático do Fluxo de Informações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Conceição do Mato Dentro



10. SÍNTESE

Este estudo foi desenvolvido para o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) com o objetivo de proporcionar um maior conhecimento sobre a qualidade do ar de Conceição do Mato Dentro, MG. O estudo foi desenvolvido com recursos da empresa Anglo American em atendimento a um termo de ajustamento de conduta (TAC) firmado com o MPMG.

Baseado no conhecimento auferido, foi desenvolvido o projeto de Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAQMAM-CMD) a ser posteriormente implementado, o que permitirá o acompanhamento sistemático dos níveis de partículas aos quais a população de Conceição do Mato Dentro está submetida, bem como auxiliará decisivamente no ordenamento assertivo de ações de controle que eventualmente se façam necessárias, potencializando a gestão eficaz do recurso ar em Conceição do Mato Dentro.

Seguindo a metodologia proposta, foi realizado o inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos existentes em Conceição do Mato Dentro, incluindo os núcleos urbanos de Dom Joaquim e Alvorada de Minas. A Tabela 10.1 apresenta o resumo do inventário de emissões atmosféricas dos principais grupos de atividades emissoras de Conceição do Mato Dentro.

Tabela 10.1 – Resumo do Inventário de Emissões Atmosféricas de Conceição do Mato Dentro

Fontes Emissoras	Taxa de Emissão de Poluentes Atmosféricos [kg/h]					
	PM	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO	COV
Projeto Minas-Rio (Anglo American)	90,9	53,6	0,4	34,1	21,7	3,3
Vias de Tráfego	98,0	69,2	0,7	23,7	120,5	28,9
Emissões Residenciais e Comerciais	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	0,2	12,8
Postos de Combustíveis	--	--	--	--	--	0,9
Total	188,9	122,8	1,1	58,2	142,4	45,9

As emissões atmosféricas foram quantificadas conforme métodos preconizados por agências internacionais como a USEPA. Embora seja um instrumento fundamental para a gestão da qualidade do ar, o inventário de emissões atmosféricas, isoladamente, não permite o estabelecimento de uma relação direta e linear de causa x efeito com a qualidade do ar, visto que tal relação envolve diversos outros atores, como as condições meteorológicas incidentes e a sinergia entre fontes coexistentes e entre poluentes também emitidos ou existentes na atmosfera, agregando um elevado grau de complexidade à questão.

Avançando na compreensão dos fenômenos envolvidos, foi aplicado o modelo meteorológico WRF para a região de estudo, tendo sido reproduzidas as condições meteorológicas de superfície e altitude ocorridas no ano de 2013. A modelagem meteorológica cumpriu um papel fundamental de suprir uma importante lacuna de informação na região, que é desprovida de séries abrangentes de dados meteorológicos, possibilitando caracterizar as condições meteorológicas com a profundidade necessária para subsidiar a aplicação dos modelos de dispersão atmosférica e qualidade do ar.

Os modelos de dispersão atmosférica são importantes ferramentas para a compreensão da qualidade do ar. Estes modelos permitem a assimilação e modelagem de complexos fenômenos que ocorrem na atmosfera. Em linhas gerais, um modelo de dispersão atmosférica possibilita o estabelecimento das interações entre terreno, fontes emissoras de poluentes atmosféricos, condições meteorológicas e interações entre os poluentes no ar para estabelecer as concentrações de poluentes na atmosfera e suas variações no espaço e no tempo.

Neste estudo foi aplicado o modelo atmosférico CMAQ, que é um dos mais avançados modelos de dispersão atmosférica disponíveis atualmente, sendo utilizado e recomendado por importantes agências internacionais de meio ambiente. A aplicação do CMAQ neste estudo foi de fundamental importância para o entendimento sobre a dinâmica da qualidade do ar, bem como o estabelecimento dos potenciais impactos decorrentes das emissões atmosféricas quantificadas com o inventário de emissões atmosféricas de Conceição do Mato Dentro.

Dentre os poluentes atmosféricos considerados¹ neste estudo, as partículas foram identificadas como as mais relevantes em relação ao potencial de impacto decorrente das emissões inventariadas. As áreas situadas na cidade de Conceição do Mato Dentro e locais mais próximos à Mina do Projeto Minas-Rio (Anglo American) apresentaram potencial de ocorrência dos níveis mais elevados de partículas em suspensão na atmosfera. Contudo, ressalta-se que os valores modelados estão sempre abaixo dos limites definidos pelos padrões de qualidade do ar (Resolução CONAMA 03/1990).

Além de subsidiar as análises dos potenciais efeitos das emissões atmosféricas para a qualidade do ar de Conceição do Mato Dentro, os resultados do modelo CMAQ embasaram a aplicação do método de otimização da rede de monitoramento da qualidade do ar projetada neste estudo.

A RAMQAM-CMD foi projetada com base na metodologia denominada Figuras de Mérito e Esferas de Influência, que preconiza a utilização do número adequado de monitores (estações de medição e sensores) minimamente necessários para proporcionar a cobertura espacial adequada das áreas prioritárias ao monitoramento, ou áreas de maior mérito. Segundo a técnica empregada neste projeto, a rede de monitoramento é classificada como otimizada por empreender os mínimos recursos necessários para o adequado monitoramento da área de estudo, racionalizando os custos envolvidos e maximizando a cobertura espacial de monitoramento.

Da forma como projetada, a RAMQAM-CMD deverá proporcionar a adequada cobertura do núcleo urbano de Conceição do Mato Dentro, além de locais estratégicos na área de influência do empreendimento da Anglo American, em termos da qualidade do ar e condições meteorológicas que influenciam nas emissões atmosféricas e na qualidade do ar.

As especificações das tecnologias dos monitores e sensores e equipamentos para a implementação da RAMQAM-CMD sugeridas neste trabalho, seguem uma tendência mundial e estão alinhados com as práticas e tecnologias mais modernas e eficientes empregadas internacionalmente. Dentre outras vantagens, a RAMQAM-CMD será totalmente automatizada, possibilitando o acompanhamento ininterrupto das condições atmosféricas da região.

Este acompanhamento ininterrupto e síncrono das condições de qualidade do ar e meteorológicas da região possibilita a avaliação e o pleno entendimento acerca dos episódios de alteração da qualidade do ar que eventualmente possam ocorrer, incluindo o rastreamento das potenciais fontes emissoras responsáveis.

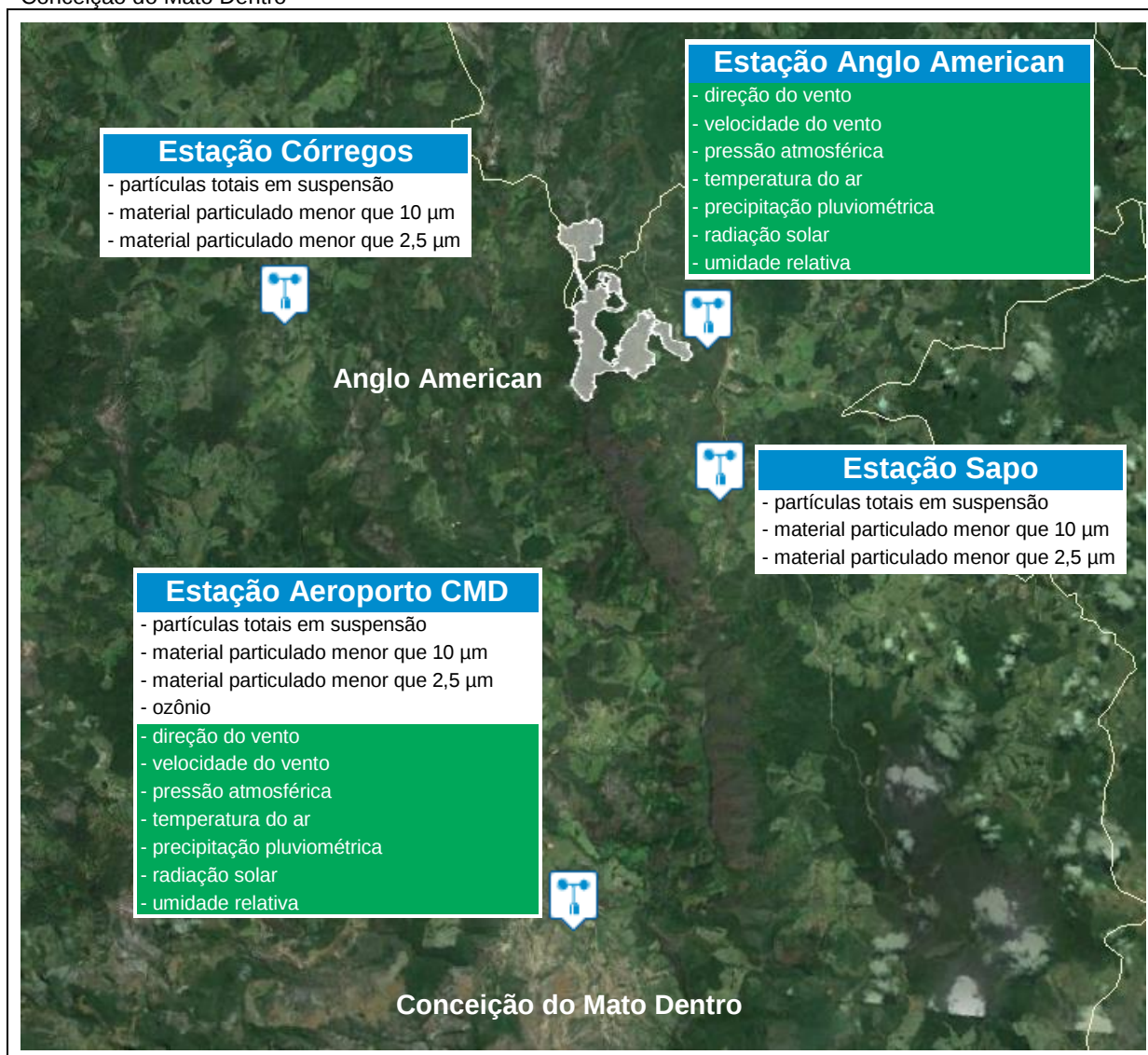
Dentre as estações que integrarão a RAMQAM-CMD, três serão dotadas de monitores de concentrações de PTS, PM₁₀ e PM_{2.5}. O monitoramento de O₃ é indicado em uma estação para que seja iniciado o diagnóstico dos níveis desse contaminante na atmosfera em Conceição do Mato Dentro, e em um segundo momento, avaliar a necessidade de ampliar

¹ Neste estudo foram considerados os seguintes poluentes atmosféricos: partículas (nas frações PTS, PM₁₀ e PM_{2.5}), SO₂, NO_x, CO, O₃ e compostos orgânicos (COV).

esse monitoramento. Os resultados da modelagem de qualidade do ar indicaram que os demais poluentes gasosos estudados (SO_2 , NO_x , CO e COV) apresentaram concentrações com baixa relevância.

Para possibilitar uma gestão atmosférica efetiva, também é necessário realizar o monitoramento das condições meteorológicas da região. Dessa forma, duas estações da RAMQAM-CMD serão dotadas de sensores meteorológicos. A localização das estações de monitoramento e sua configuração são apresentadas na Figura 10.1.

Figura 10.1 – Arranjo Geral da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Conceição do Mato Dentro



O acompanhamento da série histórica de concentrações de poluentes na atmosfera da região, que se iniciará com a operação da rede de monitoramento projetada, poderá ainda ser utilizado como critério de avaliação de desempenho dos planos de controle de qualidade do ar doravante implementados. Neste contexto, os resultados históricos da RAMQAM-CMD podem retroalimentar os planos de gestão da qualidade do ar com indicação da resposta, em termos da qualidade do ar (efeitos), para as melhorias que eventualmente sejam implementadas nas fontes emissoras, resultando em redução da emissão de poluentes

(causas). Dessa forma, mais uma vez, a RAMQAM-CMD promoverá o uso racional de recursos, com priorização daquelas medidas que gerem maiores benefícios para a qualidade do ar da região.

11. EQUIPE TÉCNICA

Luiz Cláudio D. Santolim	Coordenador Técnico Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico CREA: ES-4.531/D IBAMA: 579.921
Flávio Curbani	Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico Engenheiro de Segurança do Trabalho CREA: ES-7.864/D IBAMA 531.651
Thiago Lima Pereira	Engenheiro Ambiental IBAMA: 5.433.815
Julius César Zamprogno Mergulhão	Engenheiro Ambiental CREA: ES-26.913/D IBAMA: 5.433.813
Tatiane Jardim Moraes	Bacharel em Química Técnica em Meio Ambiente Técnica em Metalurgia e Materiais IBAMA: 5.014.892
Andrielly Moutinho Knupp	Mestre em Engenharia Ambiental Tecnóloga em Saneamento Ambiental CREA: ES-27.905/D IBAMA: 4.750.178
Alinie Rossi dos Santos	Estagiário em Engenharia Ambiental
Gabriel Rodrigo Celestino	Estagiário em Engenharia Ambiental

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional das Águas (ANA), 2011. **Sistema Hidroweb – Dados Hidrológicos/Séries Históricas**. Disponível em <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 23 de junho 2014.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural de 2013**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Rio de Janeiro: ANP, 2008.

Anglo American. Disponível em: < http://brasil.angloamerican.com/?sc_lang=pt-PT>. Acesso em: 15 de janeiro de 2015.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. **Estabelece padrões de qualidade do ar e critérios para elaboração de planos de emergência nos casos de episódios críticos de poluição do ar**. Publicado no Diário Oficial da União em 22/09/1990.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 05 de 15 de junho de 1989. **Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR**. Publicada no Diário Oficial da União em 30/08/1989.

CAPULLI, D. ; Novello, V. . **Condensação Bifásica de Vapores Orgânicos Emitidos por Operações de Transferência em Tanques de Estocagem de Combustíveis e Solventes Orgânicos**. 2007. (Apresentação de Trabalho/Comunicação).

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **26º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG. 2011** Disponível em: < http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/26BEEMGcc.pdf >. Acesso em 14 de janeiro de 2015.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Padrões Estaduais de Qualidade do Ar**. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa%C3%A7%C3%B5es-B%C3%A1sicas/22->>. Acesso em 20.de janeiro de 2015.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2009**. São Paulo: CETESB, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em 20.de janeiro de 2015.

Community Multiscale Air Quality (CMAQ). **Operational Guidance for the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System**. Institute for Environment. University of North Carolina at Chapel Hill. Chapel Hill. June 2010. Disponível em: http://www.cmascenter.org/help/model_docs/cmaq/4.7.1/CMAQ_4.7.1_OGD_28june10.pdf, acesso em 4 de março de 2015.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. Ministério dos Transportes. **Frota de Nacional de Veículos 2013**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>. Acesso em: 18 de agosto de 2014.

Departamento de Estradas e Rodagem de Minas Gerais (DER/MG). 2009. **Volume Médio Diário Anual de Tráfego em Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br/saiba-sobre/rodovias/699-volume-medio-diario-anual-de-trafego>>. Acesso em 19 de agosto de 2014.

ESPIRITO SANTO, Decreto nº 3463-R de 16 de dezembro de 2013. **Estabelece Novos Padrões de Qualidade do Ar e dá Outras Providências**. Disponível em: <<http://www.cmv.es.gov.br/Arquivo/Documents/PL/PL1362014.pdf>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2015.

European Environment Agency (EEA). **2.A Mineral Products – 2.A.5.c Storage, handling and transport of mineral products**. EMEP-EEA Guidebook, 2013. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.L.. **Emissões de Queimadas em Ecossistemas da América do Sul**. Estudos Avançados 19 (53), 2005, p.167 – 185.

GUENTER, A., KARL, T., HARLEY, P., WIEDINMEYER, C., PALMER, P.I., GERON, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). **Atmospheric Chemistry and Physics**. N.6, p.3.181-3.210, 2006.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos da estação Guanhães – 2009**. Guanhães, MG, 2014.

IBGE – **Censo Populacional 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil, 2011. Disponível em < www.ibge.gov.br/cidadesat > Acesso em 25 de agosto de 2014.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2012. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 6 de maio de 2014.

MONKS, PAUL S.; BLAKE, ROBERT S. e BORRELL, PETER. **Review of tools for modelling tropospheric ozone formation and assessing impacts on human health & ecosystems**. A report to collate, evaluate and summarise information on tools for modelling ozone (O₃) formation and assessing impacts on human health and ecosystems. Prepared for the United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). University of Leicester. UK. 2007.

National Climatic Data Center. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Global Forecast System**. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>>. Acesso em: 18 de agosto de 2014.

QUEIROZ, R. S.; SANTOLIM, L. C. D. **Rede Otimizada para o Monitoramento da Qualidade do Ar da Grande Vitória – ES**. Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1997.

SANTOLIM, L.C.D. **Rede Otimizada de Monitoramento da Qualidade do Ar para a Região da Grande Vitória**. Vitória: UFES, 1991. Dissertação de Mestrado.

SEINFELD, J.H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. Wiley. Interscience. USA: Publication, John Wiley & Sons, 1986, pp. 100-120.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change** - 2nd ed., 1326 p. 2006.

South Coast Air Quality Management District (AQMD). **Off-road Mobile Source Emission Factors**. Disponível em: <<http://www.aqmd.gov/home/regulations/ceqa/air-quality-analysis-handbook/off-road-mobile-source-emission-factors>>. Acesso em: 18 de agosto de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Compilation of Air Pollutant Emission Factor** - Fifth Edition Volume I: Stationary Point and Areas Sources. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 2005.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 1: External Combustion Sources – 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 2008. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s05.pdf>>. Acesso em: 13 de outubro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 4: Evaporation Loss Sources – 4.10 Commercial / Consumer Solvent Use**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 1981. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch04/final/c4s10.pdf>>. Acesso em: 9 de setembro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 5: Petroleum Industry – 5.2 Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 1981. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s02.pdf>>. Acesso em: 9 de setembro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 11: Mineral Products Industry – 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s1902.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 11: Mineral Products Industry – 11.24 Metallic Minerals Processing**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 1982. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s24.pdf>>. Acesso em: 2 de setembro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 11: Mineral Products Industry – 11.9 Western Surface Coal Mining**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 1982. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s09.pdf>>. Acesso em: 2 de setembro de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 13: Miscellaneous Sources – 13.2.1 Paved Roads**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 2011. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>>. Acesso em: 18 de agosto de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 13: Miscellaneous Sources – 13.2.2 Unpaved Roads**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 2006. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>>. Acesso em: 18 de agosto de 2014.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Chapter 13: Miscellaneous Sources – 13.3 Explosives Detonation**. AP 42, 5th Edition, Volume I. 1980. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s03.pdf>>. Acesso em: 10 de setembro de 2014.

United States Geological Survey - USGS - **Earth Explorer**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 18 de agosto de 2014.

Weather Research and Forecasting (WRF) **Model Users Page**. 2008. Disponível em: <<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2014.

VITÓRIA, Projeto de Lei da Câmara Municipal nº 136 de 22 de maio de 2015. **Estabelece Novos Padrões de Qualidade do Ar para o Município de Vitória e dá Outras Providências**.

Disponível em: <http://www.cmv.es.gov.br/Arquivo/Documents/PL/PL1362014.pdf>>. Acesso em 14 de janeiro de 2015.

Weather Research and Forecasting Model. **The Weather Research & Forecasting Model**. Disponível em: <<http://www.wrf-model.org/index.php>>. Acesso em: 22 de setembro de 2014.