

INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO DA GRANDE VITÓRIA



RTC10131

**Vitória
Março de 2011**

INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO DA GRANDE VITÓRIA

ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA IEMA-ECOSOFT

RTC10131

**Vitória
Março de 2011**

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	3
2. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	5
3. INVENTÁRIO DE FONTES EMISSORAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS	6
3.1 EMISSÕES INDUSTRIAIS	8
3.2 EMISSÕES VEICULARES	10
3.3 EMISSÕES DE ATIVIDADES ESPECÍFICAS	20
3.3.1 EMISSÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS	20
3.3.2 ATERROS SANITÁRIOS	24
3.3.3 ESTOCAGEM, TRANSPORTE E COMERCIALIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS	26
3.3.4 LOGÍSTICA – PORTOS E AEROPORTO	29
3.3.5 INVENTÁRIO DE EMISSÕES BIOGÊNICAS	31
3.4 SÍNTESE DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA RGV	33
4. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	40
6. EQUIPE TÉCNICA	42
7. COLABORAÇÃO TÉCNICA	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
9. APÊNDICES	46

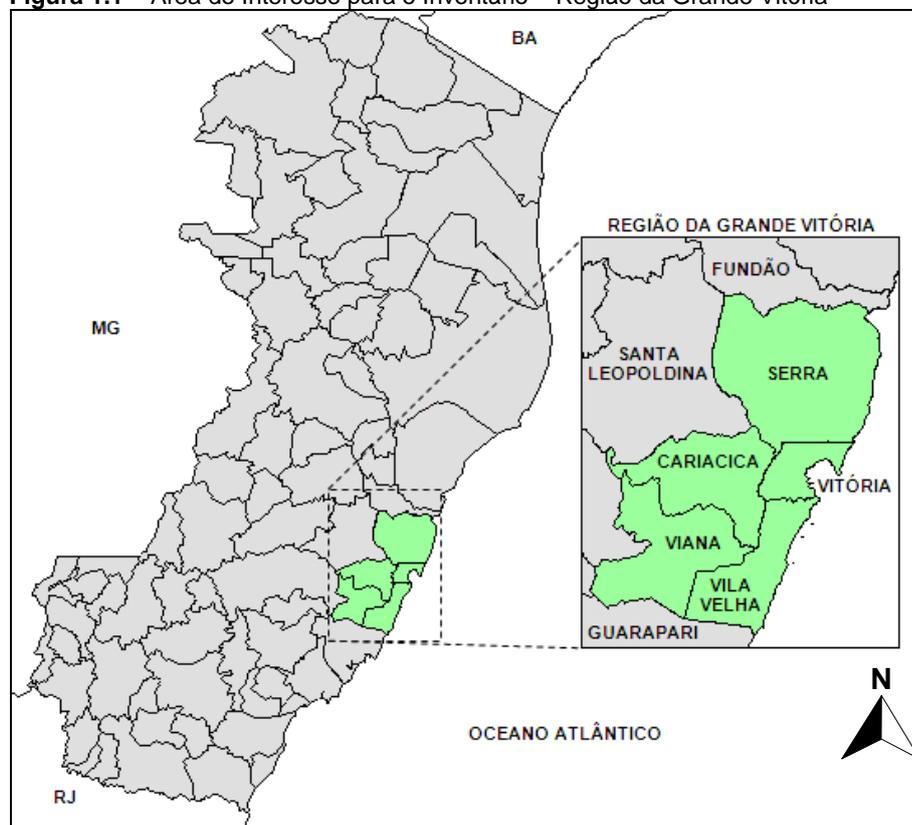
1. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta os resultados do trabalho desenvolvido através do Acordo de Cooperação Técnica firmado entre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), por intermédio do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), e a empresa EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais, objetivando a elaboração do Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região da Grande Vitória (RGV), abrangendo os municípios de Serra, Vitória, Cariacica, Vila Velha e Viana, conforme apresentado na Figura 1.1. A elaboração do inventário de emissões atmosféricas da RGV está alinhada com a atuação do IEMA na efetiva gestão da qualidade do ar da RGV.

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. Desta forma, torna-se fundamental o conhecimento do inventário das emissões de poluentes para que seja mais eficaz a gestão da qualidade do ar de uma região como a RGV.

Os resultados deste estudo objetivam dar subsídio ao avanço da quantificação e espacialização das principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos da RGV, aprofundando o conhecimento das matrizes emissoras de poluentes dos municípios de abrangência. Dessa forma, será possível utilizar tal conhecimento em ferramentas adequadas que subsidiem a geração de informações necessárias à tomada de decisões concernentes às emissões atmosféricas e qualidade do ar da RGV.

Figura 1.1 – Área de Interesse para o Inventário – Região da Grande Vitória



Fonte: Adaptado de Incaper (2010) e IJSN (2010)

A Região da Grande Vitória é predominantemente urbana e possui uma população de aproximadamente 1,5 milhões de habitantes (IBGE, 2009), o equivalente a cerca de 50% da população capixaba. Em sua área de abrangência existem fontes emissoras de poluentes atmosféricos de diferentes tipologias, tais como as vias de tráfego, indústrias de diversos seguimentos, portos, aeroportos, emissões residenciais e comerciais, dentre outras. Além das fontes emissoras já citadas, neste estudo foram consideradas as emissões atmosféricas provenientes de fontes naturais, denominadas emissões biogênicas.

O inventário realizado representa as emissões atmosféricas médias referentes ao ano de 2009. Os seguintes poluentes tiveram suas emissões quantificadas: material particulado total (MP), material particulado menor que 10 μm (MP_{10}), material particulado menor que 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV).

A metodologia utilizada para a realização do inventário de emissões da RGV seguiu os requisitos do protocolo do *Emission Inventory Improvement Program* (EIIP) recomendado pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA), associado ao controle de qualidade de informação proposto pelo *Data Attribute Rating System* (DARS), também recomendado pela mesma entidade. De forma geral, as informações de base utilizadas para o cômputo do inventário foram obtidas de resultados de campanhas de monitoramento de emissões existentes nas empresas inventariadas, cálculos utilizando fatores de emissão, balanço de massa e outras referências de atividades similares, seguindo uma ordem de prioridade pela qualidade da informação disponível.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos, na sua maior parte, através dos processos de licenciamento ambiental e acompanhamento (auto-monitoramento) dos empreendimentos inventariados existentes nos arquivos do IEMA e em outros órgãos ambientais municipais da RGV. Na ausência de dados de monitoramento ambiental, o inventário foi complementado conforme a metodologia recomendada pelo EIIP, tendo como principais referências os fatores de emissão apresentados pelo *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (AP42) da EPA e pela EC (*European Commission*), além de outras fontes de referência.

Os dados do inventário de fontes emissoras foram utilizados como entrada do modelo de qualidade do ar CMAQ (*Community Multiscale Air Quality*), com o objetivo de analisar a aderência dos resultados de concentrações de poluentes em comparação aos dados de monitoramento medidos na Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar da RGV, de modo a novamente confirmar a qualidade das informações obtidas no inventário de emissões atmosféricas.

O inventário de emissões atmosféricas da RGV desenvolvido no âmbito deste estudo foi adequadamente inserido no banco de dados do aplicativo SIA-Atmos, desenvolvido pela EcoSoft e disponível no IEMA. O banco de informações sobre o inventário compreende todos os dados que caracterizam cada uma das fontes emissoras inventariadas, incluindo georreferenciamento e modelos utilizados para a quantificação das emissões. A base de dados desenvolvida pela EcoSoft foi integralmente repassada ao IEMA para possibilitar a continuidade e melhoria contínua do inventário de emissões atmosféricas da RGV.

2. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Em resumo, as principais etapas desenvolvidas para a elaboração do inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos da RGV são apresentadas a seguir:

- ❑ Levantamento junto ao IEMA das empresas instaladas na RGV que apresentem potencial significativo de emissão para compor o Inventário de Emissões Atmosféricas da RGV;
- ❑ Identificação, pesquisa e análise dos processos de licenciamento ambiental das empresas selecionadas, existentes em arquivos do IEMA e em órgãos de meio ambiente dos municípios integrantes da RGV;
- ❑ Levantamento das informações de interesse identificadas nos processos de licenciamento e posterior solicitação das informações complementares;
- ❑ Levantamento e busca de informações referentes às fontes diversas não industriais, mas cujas emissões são também significativas, tais como postos de combustíveis, combustão de GLP em residências, combustão de gás natural em residências e comércios, portos, aeroportos, etc.;
- ❑ Levantamento das principais vias de tráfego existentes na RGV e busca de informações referentes ao fluxo de veículos junto aos órgãos competentes;
- ❑ Contagem expedita do fluxo de veículos em vias da RGV para complementação da caracterização mediante dados de contagem volumétrica;
- ❑ Medição das concentrações de material particulado em vias da RGV para caracterização granulométrica (frações total, 10 µm e 2,5 µm) do MP emitido;
- ❑ Quantificação das taxas de emissão de poluentes a partir de dados de monitoramento de emissões atmosféricas, quando disponível, complementados por fatores e modelos de emissão;
- ❑ Georreferenciamento, caracterização de propriedades físicas e regime de emissão das fontes emissoras;
- ❑ Migração e inserção de todas as informações no banco de dados SIA-Atmos, utilizado pelo IEMA.

3. INVENTÁRIO DE FONTES EMISSORAS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A correta identificação e quantificação das principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos da Região da Grande Vitória (RGV) constituem uma etapa fundamental na gestão da qualidade do ar realizada pelo IEMA. Este inventário deve ser suficientemente minucioso e detalhado, capaz de representar onde, como, quanto e quando os diversos poluentes atmosféricos são emitidos pelas fontes emissoras significativas na área de interesse.

O inventário de emissões atmosféricas é realizado com a intenção de descrever, da maneira mais acurada possível, a realidade das fontes emissoras. Contudo, devido ao dinamismo das fontes emissoras e considerando ainda a diversidade e quantidade de fontes emissoras de pequeno e médio porte existentes na área de estudo, é notória a complexidade de representação dessas emissões na forma do inventário catalogado. Diante dessa complexidade, a descrição das fontes emissoras é feita em termos médios, quando a fonte apresenta emissão pouco variável, ou com base em modelos de emissão, que se baseiam em padrões comportamentais característicos de cada fonte, quando as emissões apresentam maior grau de variação. Em alguns casos, as fontes são agrupadas, utilizando-se ambos os conceitos citados, conjuntamente.

A título de exemplo, se cada veículo que circula na região for considerado como uma fonte emissora, considerando que a emissão de poluentes em cada veículo depende do tipo e estado de conservação do motor, combustível utilizado, velocidade de tráfego, potência utilizada, posição do veículo na região de interesse, dentre outros vários fatores, é razoável concluir que não é viável inventariar separadamente cada um dos milhares de veículos em circulação. No entanto, se o cômputo for realizado tomando-se os fluxos de veículos em circulação, utilizando condições médias de circulação e de emissão por tipologia de veículo nas principais vias de tráfego da RGV, este trabalho torna-se possível e representativo. Ainda exemplificando, as emissões veiculares quantificadas consideram a posição geográfica de cada via de tráfego significativa na área estudada e as mudanças sazonais decorrentes da variação do tráfego ao longo dos meses do ano, dos dias da semana e das 24 horas do dia.

Da mesma forma, foram inventariadas no presente trabalho fontes emissoras que individualmente são de pequeno porte, mas que em grupo apresentam potencial significativo de emissão. Pode-se citar, por exemplo, o caso das emissões de compostos orgânicos voláteis provenientes do uso de produtos domésticos e de limpeza nas milhares de residências e comércios existentes na RGV.

No que tange às fontes emissoras de maior porte (exemplo: empreendimentos industriais instalados na RGV), as emissões de poluentes provenientes de chaminés e de fontes difusas (fugitivas) foram inventariadas de forma individualizada, considerando as especificidades de cada fonte e suas características físicas com detalhamento próprio.

A classificação das fontes que integram o inventário de emissões atmosféricas da RGV podem ser classificadas sob diferentes abordagens. A seguir são descritas estas classificações.

Quanto ao posicionamento as fontes emissoras, podem ser qualificadas como fontes **fixas** e **móveis**.

- As fontes fixas possuem posicionamento constante no tempo. Essas fontes produzem cargas pontuais e difusas de poluente, sendo tipicamente representadas pelas chaminés de exaustão, pilhas de materiais e tanques de armazenagem de líquidos orgânicos, sendo que nesse estudo foram consideradas também outras

tipologias de fontes fixas, como emissões de poluentes provenientes de postos de combustíveis, aeroportos, aterros sanitários e residências.

- As fontes móveis variam sua posição ao longo do tempo. Tais fontes produzem cargas difusas de poluentes. No contexto do inventário da RGV, as principais emissões classificadas como fontes móveis são as emissões veiculares e de navios.

As fontes emissoras podem ainda ser qualificadas em relação à atividade, sendo identificadas fontes emissoras industriais, comerciais, residenciais e emissões veiculares.

Em alguns casos os conjuntos de fontes emissoras são integrantes de mais de uma classe. Por exemplo, uma chaminé de um processo industrial é considerada uma fonte fixa do ponto de vista de sua ocorrência espacial e uma fonte industrial, quando analisada no contexto de sua atividade.

Após a compilação do inventário da RGV, os dados gerados foram validados, de forma que as emissões quantificadas representassem da melhor maneira possível a realidade das fontes emissoras. Ressalta-se que todos os cálculos utilizados para a confecção desse inventário encontram-se no memorial de cálculo contido no Apêndice A desse documento.

As seções complementares desse capítulo apresentam as premissas e considerações utilizadas para a quantificação das emissões dos diversos tipos de fontes emissoras contidas no presente estudo.

Em específico, as seções 3.1 e 3.2 apresentam as considerações acerca do inventário das emissões industriais e emissões veiculares, respectivamente. Estes dois grupos de fontes emissoras são usualmente abordados nos inventários de emissões atmosféricas de regiões metropolitanas. Neste estudo, adicionalmente e com o objetivo de computar de maneira mais abrangente as emissões atmosféricas da RGV, foram incluídos grupos adicionais de fontes emissoras, para os quais foram aplicadas metodologias específicas de cálculo das taxas de emissão, com destaque para as emissões residenciais e comerciais, emissões de portos e aeroportos, postos de combustíveis e aterros sanitários, apresentados na seção 3.3.

3.1 EMISSÕES INDUSTRIAIS

As emissões industriais foram inventariadas a partir da consulta de informações integrantes dos bancos de dados do IEMA, órgãos ambientais dos municípios integrantes da RGV e pela pesquisa de dados junto às próprias empresas.

A elaboração do inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos da RGV teve seu início com a seleção das empresas a serem consideradas no inventário de emissões. Devido ao grande número de empreendimentos instalados na RGV, foram escolhidos para uma análise detalhada e específica, em conjunto com o IEMA, aqueles para os quais foram identificados potenciais significativos de emissões de poluentes atmosféricos. Desta seleção resultaram 88 empreendimentos.

Nos 88 empreendimentos considerados estão incluídas desde empresas de pequeno porte, em alguns casos com apenas uma fonte emissora (pequenas caldeiras ou fornos), até empreendimentos com elevado potencial de emissão, com identificação de centenas de fontes emissoras pontuais e difusas em sua matriz de emissões atmosféricas. A relação das empresas inventariadas em detalhe são apresentadas no Apêndice D. No Apêndice B são apresentadas as características das fontes emissoras industriais.

As taxas de emissões de poluentes atmosféricos das fontes emissoras industriais foram quantificadas com a utilização das informações disponíveis, seguindo a ordem de precedência descrita a seguir:

1. Compilação de dados de monitoramento das taxas de emissões atmosféricas específicas de cada fonte emissora inventariada, quando disponível;
2. Aplicação de fatores de emissão e modelos de emissão específicos para o cômputo das emissões, tendo como base as informações acerca das fontes emissoras e processo produtivo.

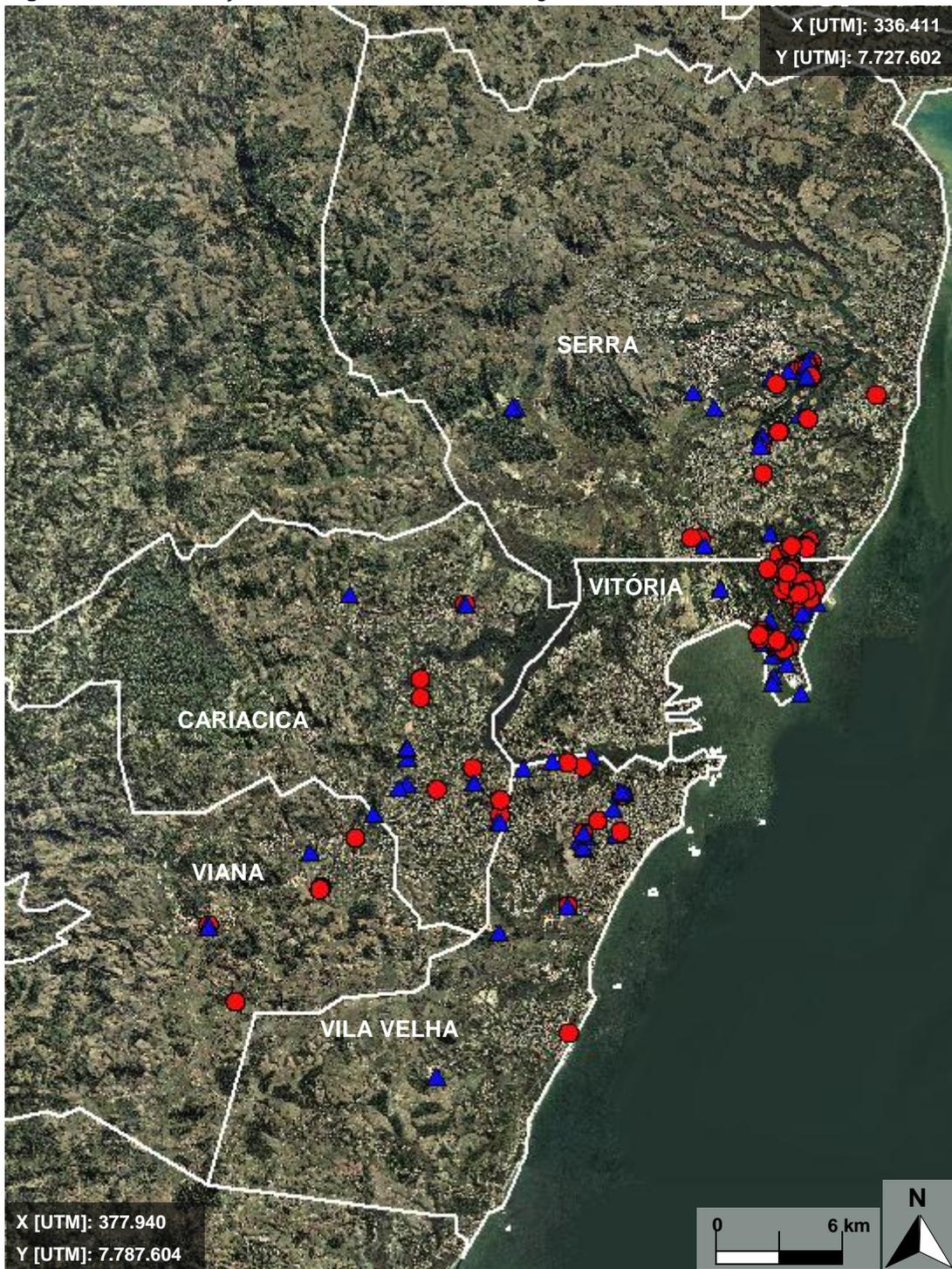
As emissões dos 88 empreendimentos selecionados para análise detalhada representam cerca de 91% das emissões de poluentes atmosféricos de origem industrial na RGV. As emissões dos demais empreendimentos, de menor porte ou com potencial de emissão pouco significativo (não inventariados individualmente), foram consideradas de forma esparsa, representados nos limites das áreas urbanas dos respectivos municípios onde se encontram instalados. Estas emissões adicionais foram computadas de maneira global, com base no consumo de combustíveis na RGV.

Os totais de emissões industriais quantificados no inventário de emissões da RGV são apresentados na Tabela 3.1.1. A Figura 3.1.1 apresenta a distribuição das fontes emissoras de origem industrial na RGV.

Tabela 3.1.1 – Totais de Emissões Médias de Origem Industrial na RGV

Empresa	Taxa de Emissão [kg/h]						
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Emissões Industriais	1.047,5	594,7	293,8	2.568,7	2.418,4	15.957,0	529,0

Figura 3.1.1 – Localização das Fontes Emissoras de Origem Industrial na RGV



- Legenda:
- Fontes pontuais
 - ▲ Fontes difusas

3.2 EMISSÕES VEICULARES

As emissões atmosféricas provenientes do tráfego de veículos automotores são originárias (1) do processo de combustão, nos motores dos veículos, gerando gases e partículas lançadas pelo escapamento; (2) do vazamento e evaporação de compostos orgânicos; (3) do processo de frenagem e desgaste de pneus e (4) da 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 de tráfego. Dessa forma, no inventário as vias de tráfego são a representação espacial das emissões veiculares.

Neste estudo, as vias de tráfego foram consideradas sob duas diferentes formas de representação. As vias de maior fluxo de tráfego, definidas como vias primárias, foram representadas como fontes emissoras lineares, com as suas respectivas localizações coincidentes com o traçado das vias. As vias secundárias e de menor fluxo de tráfego foram representadas como fontes emissoras do tipo área, coincidentes com as manchas urbanas dos municípios da RGV.

A primeira etapa do inventário de emissões veiculares da RGV foi a identificação dos principais corredores de tráfego, que representam as vias primárias. Após a análise crítica sobre a abrangência e representatividade das vias a serem contempladas no inventário, foram identificadas 125 vias de tráfego primárias. A Figura 3.2.1 apresenta a distribuição espacial das vias primárias consideradas no inventário.

As vias secundárias foram mapeadas de forma conjunta em áreas congruentes com as manchas urbanas dos municípios da RGV, conforme apresentado na Figura 3.2.2.

As emissões veiculares são diretamente proporcionais ao fluxo de tráfego de veículos das vias. O volume médio de tráfego de veículos nas vias foi obtido a partir de dados disponibilizados pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER-ES), pelos levantamentos de tráfego disponibilizados pelos órgãos gestores municipais, dados de pedágios, por meio de estudos ambientais de impacto urbano e complementados por contagens expeditas de fluxo de veículos realizadas pela EcoSoft.

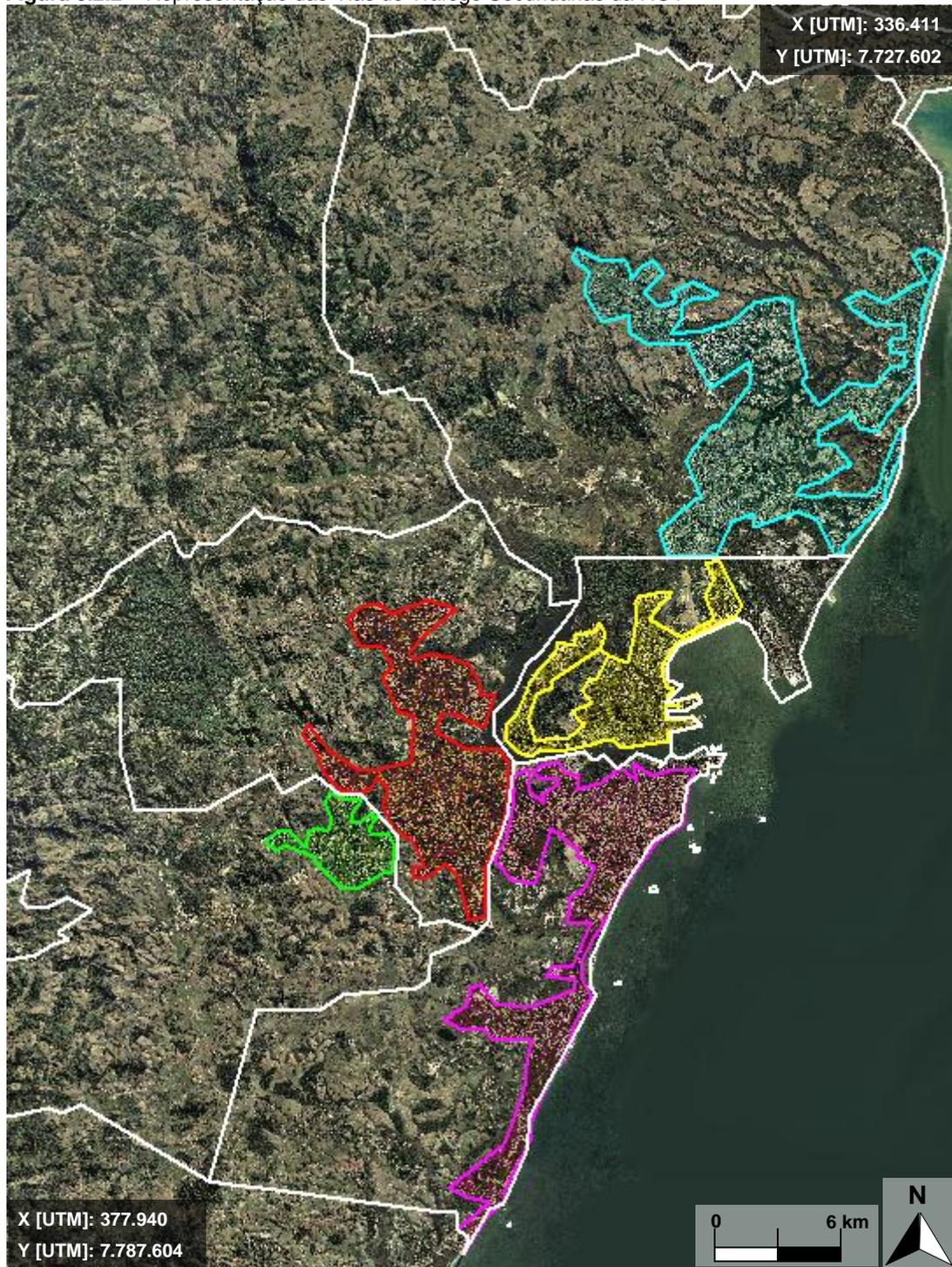
A contagem expedita do fluxo de tráfego registra a quantidade de veículos leves (carros e motocicletas) e pesados (ônibus e caminhões) que transitam em determinada via no período de tempo no qual se efetiva tal contagem. Aos volumes registrados pelas contagens expeditas, foram aplicados fatores de ajuste do fluxo de veículos, conforme a variação temporal identificada nas funções de tráfego consolidadas das vias da RGV. Dessa forma, os volumes obtidos nas contagens expeditas foram distribuídos de acordo com a variação do fluxo de veículos leves e pesados nas vias ao longo das horas do dia, das semanas e dos meses do ano, possibilitando mensurar a emissão de poluentes levando-se em conta tal sazonalidade.

Figura 3.2.1 – Representação das Vias de Tráfego Primárias da RGV



Legenda:
— Vias de Tráfego Primárias

Figura 3.2.2 – Representação das Vias de Tráfego Secundárias da RGV



Legenda:

- Serra
- Vitória
- Vila Velha
- Cariacica
- Viana

Para exemplificar as informações sobre as funções de tráfego utilizadas, as Figuras 3.2.3 a 3.2.8 apresentam, as curvas das funções de tráfego horárias, semanais e mensais típicas da 3ª Ponte, que interliga os municípios de Vitória e Vila Velha, tanto para veículos leves quanto pesados. Os dados obtidos para compilação destas funções foram fornecidos pela Concessionária Rodovia do Sol (RODOSOL, 2009).

Figura 3.2.3 – Função Horária de Tráfego Típica para Veículos Leves – 3ª Ponte (Vila Velha)



Figura 3.2.4 – Função de Tráfego Semanal para Veículos Leves – 3ª Ponte (Vila Velha)

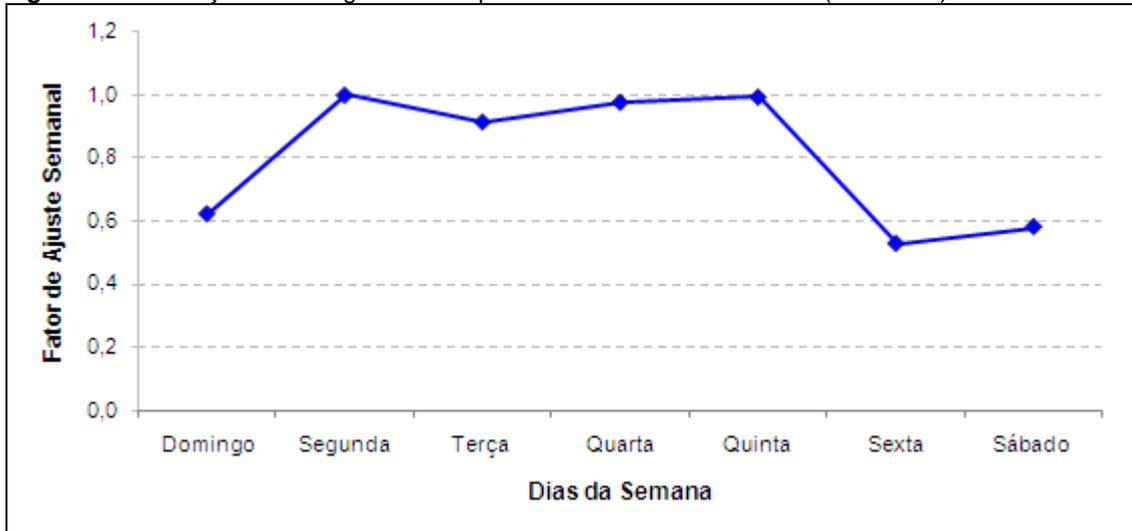


Figura 3.2.5 – Função de Tráfego Mensal para Veículos Leves – 3ª Ponte (Vila Velha)

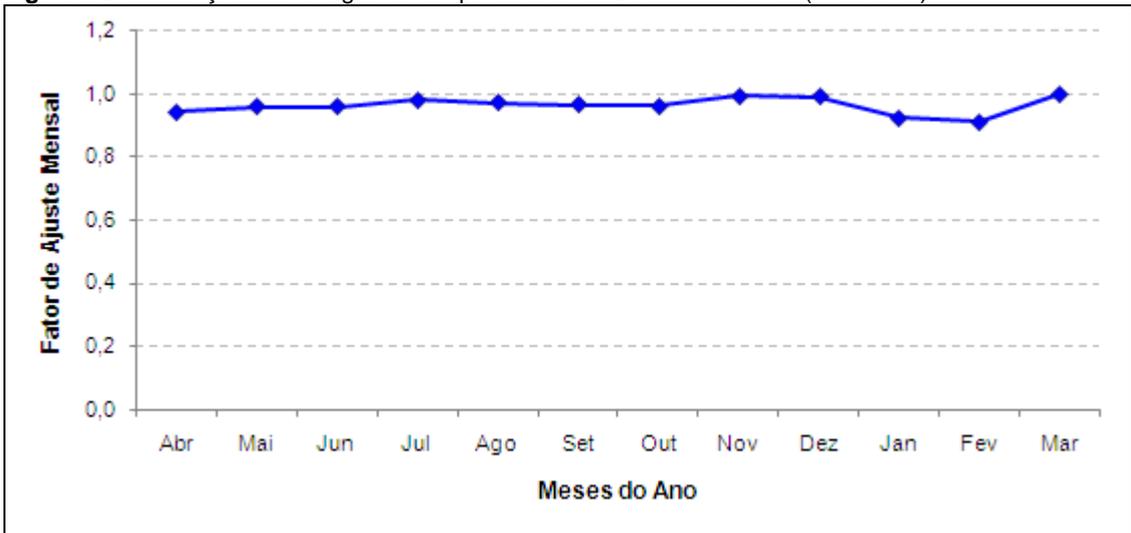


Figura 3.2.6 – Função Horária de Tráfego Típica para Veículos Pesados – 3ª Ponte (Vila Velha)

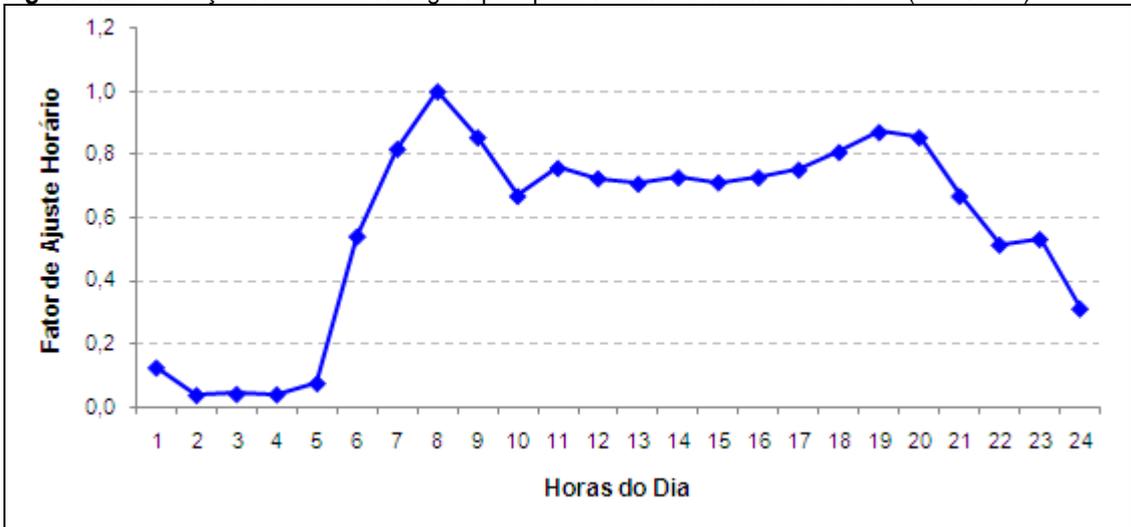


Figura 3.2.7 – Função de Tráfego Semanal para Veículos Pesados – 3ª Ponte (Vila Velha)

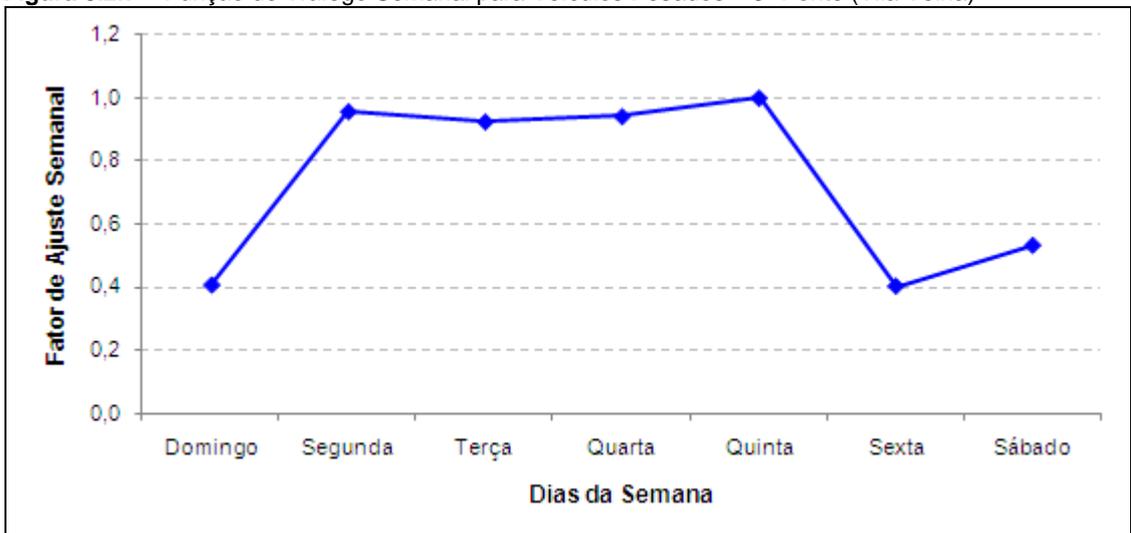
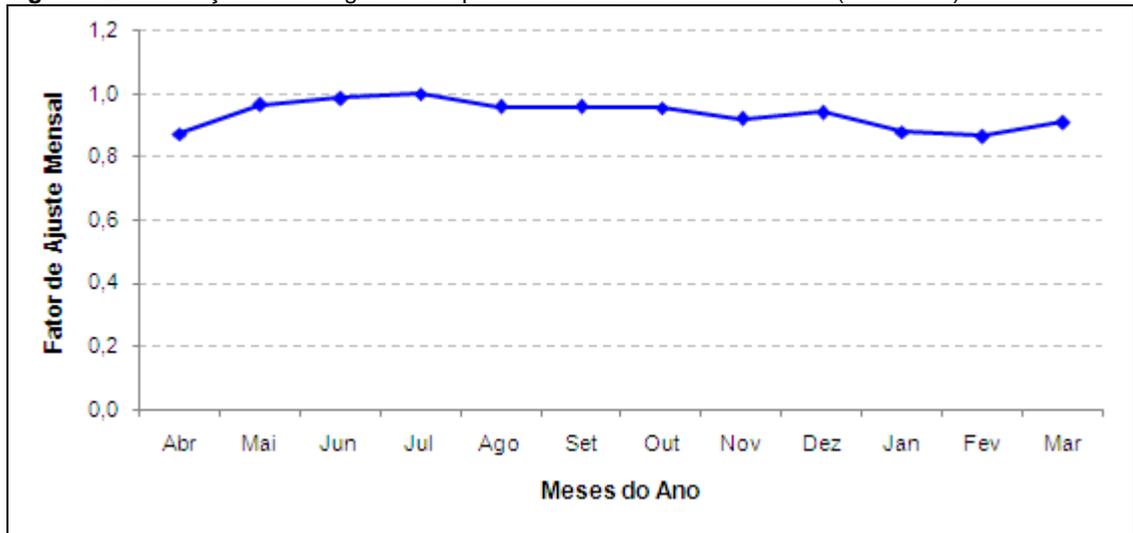


Figura 3.2.8 – Função de Tráfego Mensal para Veículos Pesados – 3ª Ponte (Vila Velha)



Os veículos que circulam na RGV utilizam vários tipos de combustíveis. Os de passeio consomem gasolina, álcool, gás natural veicular (GNV) e misturas em diferentes proporções do álcool e da gasolina (carros flex); as motocicletas utilizam somente gasolina; e os veículos pesados em sua maioria são movidos a diesel. O consumo dessa diversidade de combustíveis supracitados remete a diferentes taxas de emissão de poluentes atmosféricos. Com isso, para melhor caracterizar a emissão de poluentes das vias de tráfego da região, faz-se necessário determinar a composição da frota de veículos por tipo de combustível utilizado. Através da utilização de dados disponibilizados pelo Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo (DETRAN-ES, 2008), é apresentado na Tabela 3.2.1 o fracionamento da frota de veículos leves e pesados da RGV de acordo com o tipo de combustível utilizado na RGV.

Tabela 3.2.1 – Fracionamento da Frota de Veículos da RGV por Tipo de Combustível

Fração da Frota por Tipo de Combustível [%]				
Gasolina	Álcool	Flex	GNV	Óleo Diesel
66	5	15	3	11

Fonte: Detran, 2008

Uma vez realizado o levantamento de todos os dados necessários para o inventário de emissões veiculares nas vias de tráfego da RGV, foram utilizados fatores de emissão publicados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2009) para quantificação das emissões atmosféricas veiculares.

Apesar dos fatores de emissão da CETESB serem calculados baseados na frota veicular da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), esta é a única fonte de referência oficial disponível no Brasil, fazendo com que esta seja amplamente utilizada em todo o território nacional. Vários trabalhos científicos, como Campos et al. (1999), Albuquerque (2010) e Ynoue e Albuquerque (2010) sugerem a utilização de ajustes nos fatores de emissão estabelecidos pela CETESB, devido às incertezas sobre medidas ambientais principalmente dos COVs, pela limitação da área de referência utilizada no inventário oficial da CETESB e também, pelas estimativas que são consideradas em função do tipo de combustível e a idade dos veículos que trafegam nas vias, as quais são diferentes em cada localidade. Martins (2006) através de medidas de COVs em dois túneis da cidade de São Paulo determinou a especificação de COVs veiculares com o objetivo de contribuir para uma melhoria do atual inventário de emissões da RMSP, obtendo fatores de emissão diferentes aos apresentados pela CETESB.

Considerando as diferenças existentes entre a RMSP e a RGV e, baseando-se nos resultados obtidos nos trabalhos científicos citados, a EcoSoft optou pela utilização de modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos, visando o aprimoramento do inventário de emissões para a RGV. Como a emissão de poluentes e a qualidade do ar estão diretamente relacionados, considerando ainda os fatores meteorológicos e de terreno, é possível verificar a qualidade do inventário de emissões elaborado através da aplicação do inventário em um modelo de dispersão aderente à região analisada, verificando se as concentrações de poluentes no ar ambiente geradas pela modelagem são da mesma ordem de grandeza das concentrações medidas pela Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar (RAMQAr) da RGV.

A modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos foi realizada com utilização do modelo CMAQ, que por sua vez foi alimentado com informações meteorológicas obtidas com o auxílio de uma modelagem meteorológica realizada com o modelo WRF, informações detalhadas do terreno, uso e ocupação do solo, além do próprio inventário de emissões objeto do presente trabalho. Os resultados gerados pelo CMAQ foram comparados com as concentrações ambientais dos poluentes monitorados na RAMQAr da RGV durante o ano de 2009. Desta forma foi possível realizar diferentes testes de forma a proporcionar ajustes nos fatores de emissão da CETESB, buscando a obtenção das concentrações medidas em 2009, e com isso a garantia do uso de fatores de emissão mais próximos da realidade encontrada na área de estudo.

A partir dos resultados da modelagem, foi identificada a necessidade de correção do fator de emissão da CETESB para o monóxido de carbono em veículos, uma vez que observou-se que a emissão deste poluente estava subestimada. Neste estudo fator de emissão da CETESB foi corrigido com o multiplicador 1,85. A Tabela 3.2.2 apresenta o inventário de emissões veiculares de CO sem ajuste no fator de emissão CETESB e com fator ajustado. Para os demais poluentes, os fatores da CETESB para veículos mostraram-se adequados à RGV.

Tabela 3.2.2 – Inventário de Emissões Veiculares de CO

Fator de Ajuste	Taxa de Emissão de CO [kg/h]
Sem Ajuste	8.630,1
Ajuste de 1,85	15.965,8

Além da utilização de fatores de emissão, também foram realizadas campanhas de monitoramento de material particulado em 3 vias da Região da Grande Vitória: Avenida Nossa Senhora da Penha, Rodovia BR-101 (Carapina) e Rodovia Carlos Lindemberg. As Figuras 3.2.9, 3.2.10 e 3.2.11, apresentam as vias monitoradas, respectivamente.

O monitoramento feito nas vias citadas teve como objetivo avaliar a concentração de material particulado, principalmente, devido à ressuspensão de poeira causada pela movimentação de veículos. Foram utilizados 3 monitores automáticos (E-Sampler, fabricados pela Met One Instruments Inc.) para a medição simultânea das concentrações de MP (material particulado total), MP₁₀ (material particulado com diâmetro menor que 10 micrômetros) e MP_{2,5} (material particulado com diâmetro menor que 2,5 micrômetros). Em termos médios, a distribuição de granulometria das partículas nas vias foi MP₁₀ = 71% do MP e MP_{2,5} = 51% do MP emitido pelos veículos (escapamento, desgaste de pneus, desgaste de freios e ressuspensão).

Figura 3.2.9 – Monitoramento de Material Particulado – Avenida Nossa Senhora da Penha (Vitória)

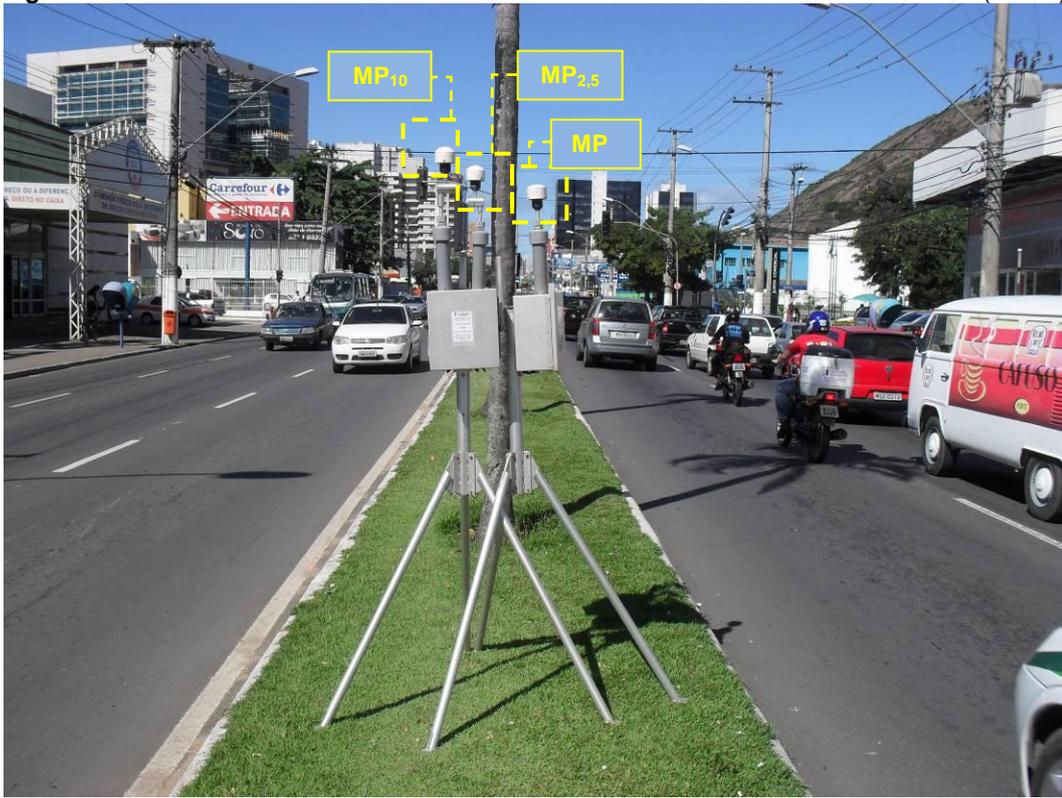


Figura 3.2.10 – Monitoramento de Material Particulado – Rodovia Carlos Lindemberg (Vila Velha)

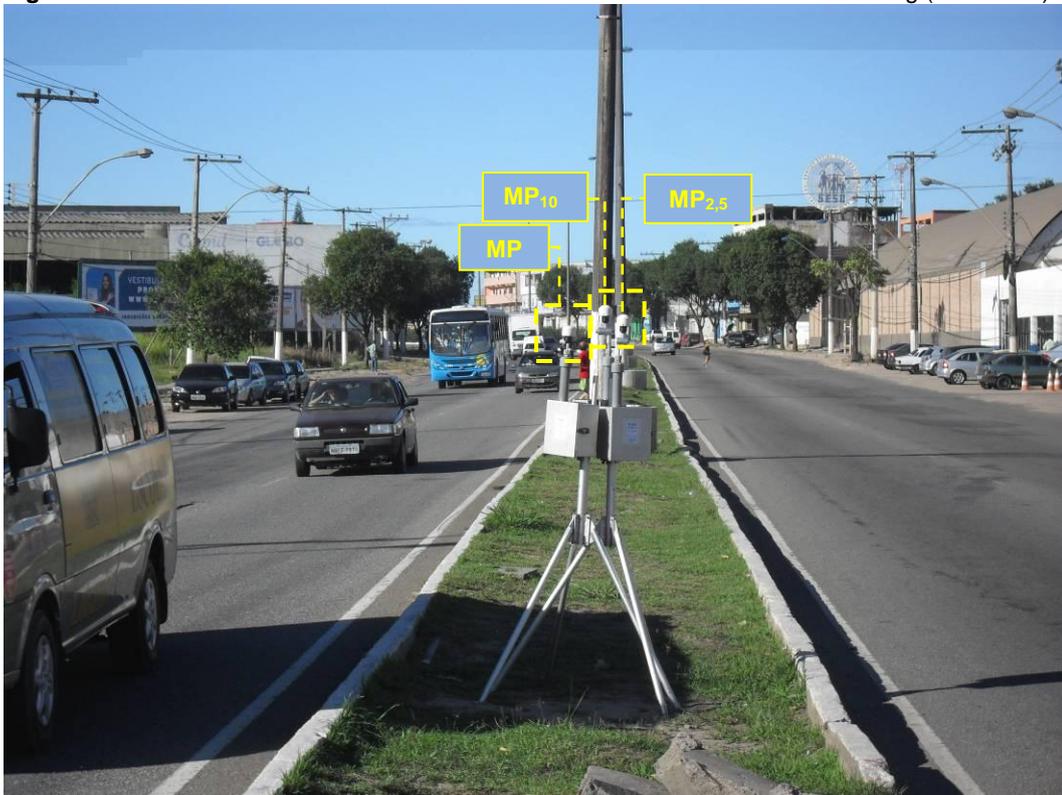
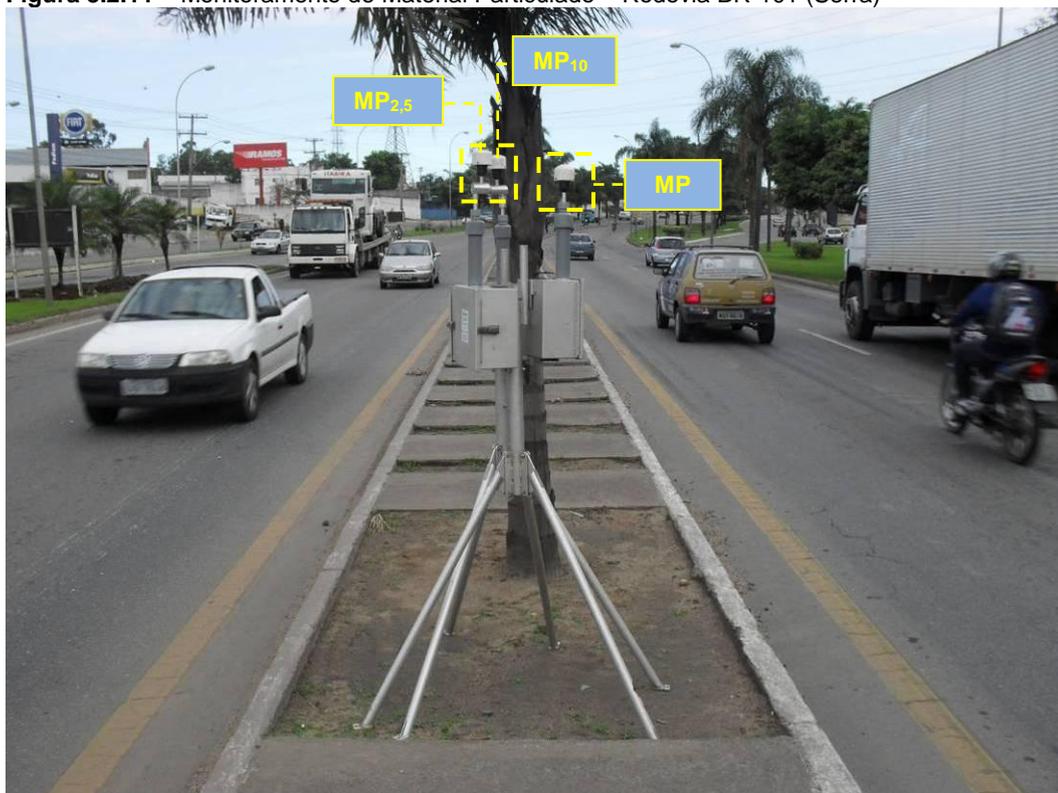


Figura 3.2.11 – Monitoramento de Material Particulado – Rodovia BR-101 (Serra)



Após a totalização das emissões atmosféricas das principais vias de tráfego dos municípios estudados na RGV, e posterior comparação com a emissão de poluentes esperada frente à frota de veículos automotores registrada em cada município com o respectivo consumo de combustíveis, procedeu-se ao cálculo das emissões das fontes móveis nas vias secundárias. Dessa forma, as emissões provenientes das vias secundárias, com fluxo menos intenso de veículos e que não tiveram o fluxo mensurado ou quantificado, foram devidamente quantificadas, cuja representação espacial já foi apresentada na Figura 3.2.2.

A Tabela 3.2.3 apresenta a totalização das emissões de poluentes atmosféricos provenientes da movimentação de veículos nas vias primárias e secundárias da RGV.

Tabela 3.2.3 – Inventário de Emissões Veiculares da RGV por Tipo de Via

Origem	Emissões Atmosféricas [kg/h]						
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Vias Primárias	1.148,4	815,4	585,7	19,8	530,5	5.134,5	721,0
Vias Secundárias	1.743,2	1.237,6	507,3	26,4	1.132,5	10.831,2	1.239,7
Total	2.891,6	2.053,1	1.093,1	46,2	1.663,0	15.965,8	1.960,7

De forma a apresentar a contribuição das emissões de material particulado por tipo de fonte emissora nos municípios inventariados, a Tabela 3.2.4 apresenta as emissões de material particulado nos municípios da RGV, provenientes do escapamento de veículos, da ressuspensão de poeira e desgaste de pneus nas vias. Vale ressaltar que, de acordo com a literatura especializada (EPA, 2007; CETESB, 2009), a maior parte da fração de material particulado emitida no escapamento dos veículos é fina (< 2,5 µm). Desta forma, convencionou-se que toda emissão de particulado oriunda do processo de combustão de

veículos é menor que 2,5 μm , da mesma forma todas as emissões de material particulado advindo do processo de frenagem e desgaste de pneus foram consideradas como $\text{MP}_{2,5}$.

Tabela 3.2.4 – Inventário de Emissões Veiculares de Material Particulado na RGV por Município

Município	Escapamento ^a	Desgaste Pneus ^a	Ressuspensão		
	$\text{MP}_{2,5}$	$\text{MP}_{2,5}$	MP	MP_{10}	$\text{MP}_{2,5}$
Cariacica	16,0	5,4	394,0	273,5	135,6
Serra	36,0	12,2	888,4	616,8	305,8
Viana	10,7	2,3	240,8	167,2	82,9
Vila Velha	19,4	9,5	533,0	370,1	183,5
Vitória	24,8	12,5	686,6	476,7	236,4
Total	107,0	41,9	2.742,7	1.904,2	944,2

Nota:

a. as emissões de escapamento e desgaste de pneus foram consideradas como $\text{MP}_{2,5}$.

As informações detalhadas de cada via inventariada neste estudo podem ser verificadas no Apêndice C.

3.3 EMISSÕES DE ATIVIDADES ESPECÍFICAS

Frequentemente, nos inventários de emissões atmosféricas de regiões metropolitanas, são consideradas as emissões industriais e as emissões veiculares. Neste estudo, buscando uma representação mais próxima possível à realidade das emissões atmosféricas da RGV, bem como reproduzir de forma aderente cenários de qualidade do ar com aplicação de modelos de dispersão de última geração (CMAQ), foram inventariadas as emissões das seguintes atividades:

- ❑ Emissões residenciais e comerciais;
- ❑ Aterros sanitários;
- ❑ Estocagem, transporte, e comercialização de combustíveis;
- ❑ Portos e aeroporto;
- ❑ Emissões biogênicas.

As seções a seguir descrevem as premissas e considerações utilizadas para o cômputo das emissões de poluentes atmosféricos destes grupos de fontes emissoras específicas.

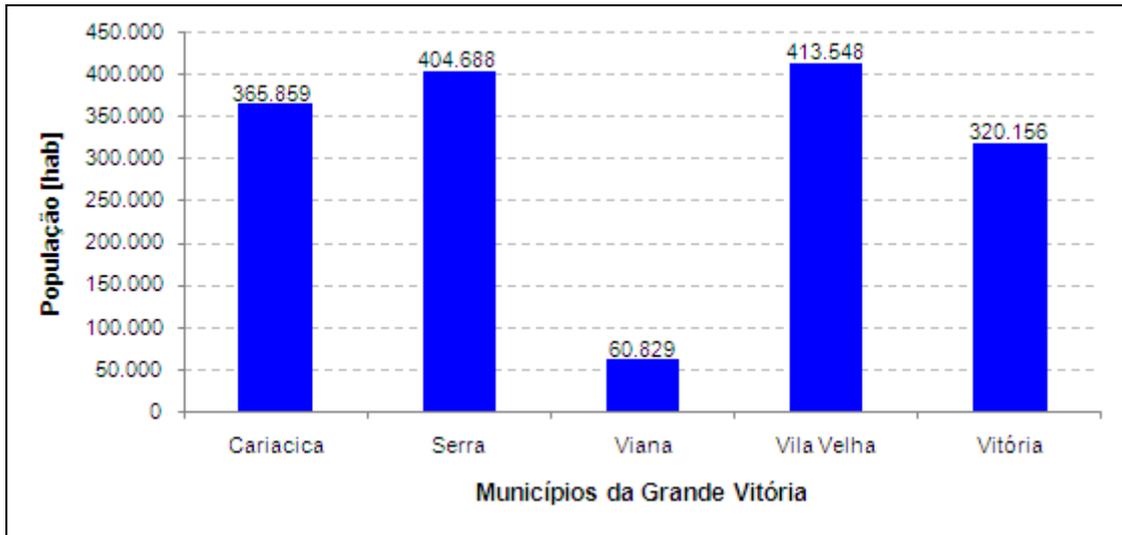
3.3.1 EMISSÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS

O cômputo das emissões provenientes de residências e da atividade comercial dos municípios integrantes da RGV foi realizado considerando principalmente:

- ❑ Combustão de gás liquefeito de petróleo (GLP) e de gás natural (GN), que ocorre principalmente em fogões, fornos, aquecedores e refrigeradores utilizados nas residências e estabelecimentos comerciais da RGV;
- ❑ Utilização de produtos contendo compostos orgânicos voláteis, utilizados cotidianamente nas atividades da população em geral. Dentre estes produtos destacam-se os artigos de higiene e limpeza, controle de pragas, tintas e solventes.

A quantificação das emissões residenciais e comerciais foi realizada tendo por base fatores de emissão, dados da dinâmica populacional e de consumo de combustíveis (GLP e GN) nos municípios da RGV. Os dados da distribuição populacional nos municípios em questão foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), conforme pode ser observado na Figura 3.3.1.1. Os dados referentes ao consumo de GLP e GN na RGV foram obtidos na Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2009), apresentados na Tabela 3.3.1.1.

Figura 3.3.1.1 – População nos Municípios Inventariados



Fonte: IBGE, 2009

Tabela 3.3.1.1 – Consumo de GLP e GN na Região da Grande Vitória em 2009

Municípios	Consumo de GLP [m ³]	Consumo de GN [m ³]
Cariacica	24.255	20.031
Serra	26.830	26.713.848
Viana	4.033	253.194
Vila Velha	27.417	167
Vitória	21.225	30.457.994
Total	103.760	57.445.234

Fonte: ANP, 2009.

O cômputo do consumo específico de GLP para cada município pertencente à RGV foi ponderado proporcionalmente à distribuição populacional nos respectivos municípios, de forma a produzir uma distribuição espacial mais realista das emissões produzidas por este consumo.

O consumo de GLP, GN e de produtos domésticos sofre variações ao longo do dia. Por isso, determinar a variação horária desse consumo é fundamental para quantificar as emissões atmosféricas sazonais que eles proporcionam. Devido à falta de referências de curvas da variação horária dos respectivos consumos, foi adotada uma função estimativa do consumo de GLP e GN, apresentada na Figura 3.3.1.2, que reproduz os hábitos brasileiros referentes ao consumo destes insumos.

A Tabela 3.3.1.2 apresenta a emissão média de poluentes atmosféricos oriundos das residências e comércios que compõem a Região da Grande Vitória.

As emissões residenciais e comerciais foram representadas de acordo com os polígonos congruentes com as áreas urbanas (áreas mais densamente habitadas) dos municípios de interesse. A Figura 3.3.1.3 apresenta a representação das emissões residenciais e comerciais da RGV.

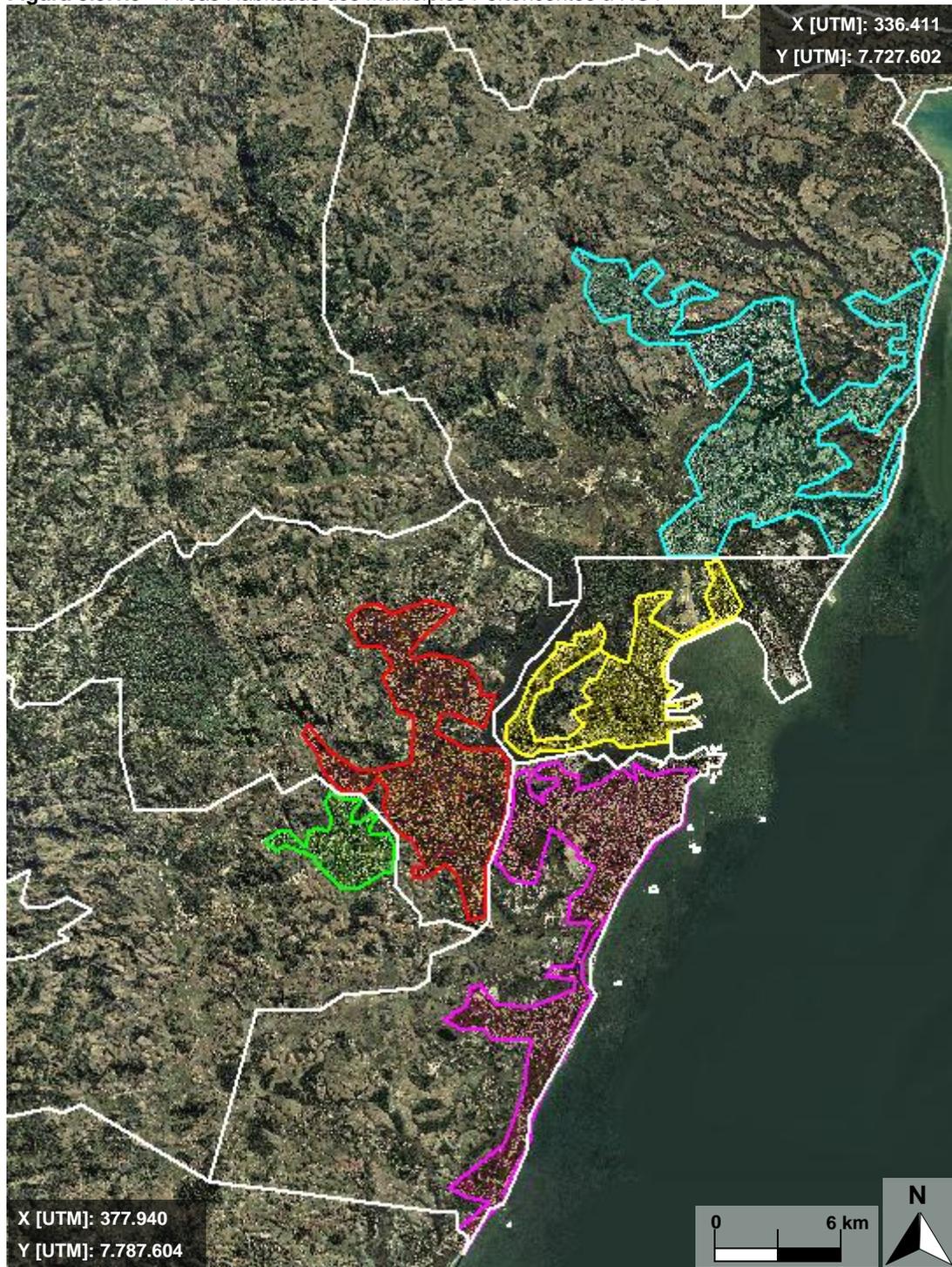
Figura 3.3.1.2 – Função Horária do Consumo de GLP e GN em Residências e Estabelecimentos Comerciais



Tabela 3.3.1.2 – Inventário de Emissões – Emissões de Residências e Comércio da RGV

Município	Taxa de Emissão Média [kg/h]							
	Origem	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Cariacica	Combustão GLP	0,27	0,07	0,07	0,47	4,99	2,79	0,37
	Combustão GN	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Produtos contendo COV	-	-	-	-	-	-	175,41
Serra	Combustão GLP	0,29	0,07	0,07	0,52	5,51	3,08	0,40
	Combustão GN	0,38	0,38	0,38	0,03	4,95	4,15	0,27
	Produtos contendo COV	-	-	-	-	-	-	194,03
Viana	Combustão GLP	0,04	0,01	0,01	0,08	0,83	0,46	0,06
	Combustão GN	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	0,04	< 0,01
	Produtos contendo COV	-	-	-	-	-	-	29,16
Vila Velha	Combustão GLP	0,30	0,08	0,08	0,53	5,63	3,16	0,05
	Combustão GN	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Produtos contendo COV	-	-	-	-	-	-	198,28
Vitória	Combustão GLP	0,23	0,06	0,06	0,41	4,36	2,44	0,32
	Combustão GN	0,43	0,43	0,43	0,03	5,64	4,74	0,31
	Produtos contendo COV	-	-	-	-	-	-	153,50
Total		1,95	1,10	1,10	2,04	31,95	20,87	752,53

Figura 3.3.1.3 – Áreas Habitadas dos Municípios Pertencentes à RGV



Legenda:

- Serra
- Vitória
- Vila Velha
- Cariacica
- Viana

3.3.2 ATERROS SANITÁRIOS

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) contêm significativa parcela de matéria orgânica biodegradável. Após a disposição dos RSU em aterros, inicia-se o processo de digestão anaeróbia, que gera o biogás contendo elevada concentração de metano (CH₄) e compostos orgânicos voláteis (COV), além do monóxido de carbono (CO).

Como forma de controle das emissões gasosas provenientes dos aterros, em geral são utilizados sistemas de exaustão e combustão em *flares*. Em alguns casos, aterros utilizam o biogás em projetos de aproveitamento energético. A combustão do biogás gerado nos aterros reduz a emissão de metano, considerado gás de efeito estufa.

Todas as informações necessárias para o cômputo das emissões oriundas dos aterros sanitários existentes na RGV foram adquiridas junto ao IEMA e IBGE (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico).

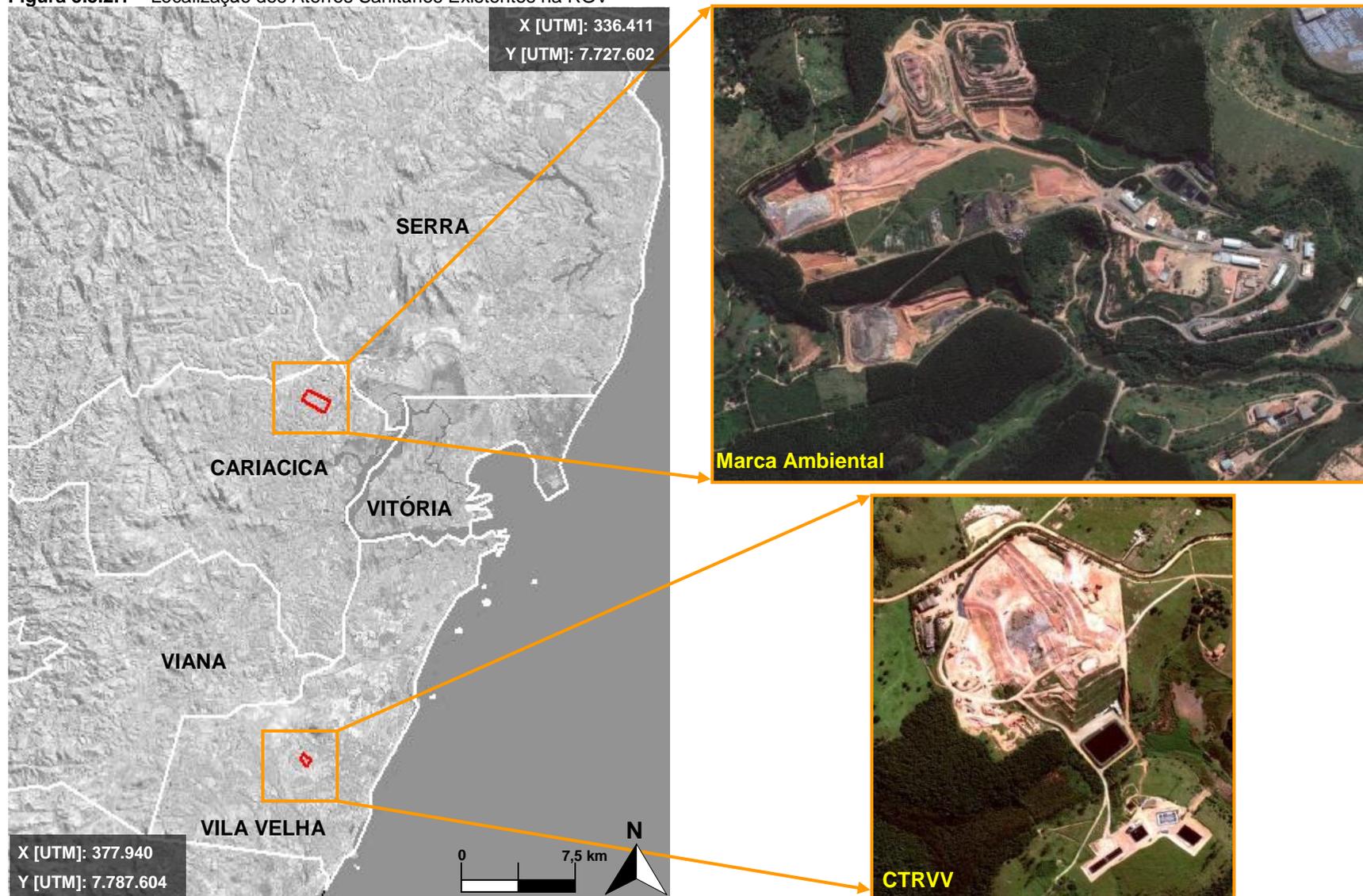
Após a obtenção de informações junto às fontes citadas, foram identificados dois aterros sanitários existentes na RGV, o aterro da CTRVV (Central de Tratamento de Resíduos de Vila Velha) e o da Marca Ambiental. Foram quantificadas as emissões de poluentes atmosféricos provenientes das reações de decomposição da matéria orgânica (biodegradação), que ocorrem em toda a área dos aterros, e da queima de biogás em *flares* (Tabela 3.3.2.1). As emissões provenientes de aterros sanitários foram calculadas com o software Landgem e com a aplicação de fatores de emissão. A Figura 3.3.2.1 apresenta a localização dos aterros sanitários inventariados.

Tabela 3.3.2.1 – Inventário de Emissões – Aterros da RGV

Aterro	Atividade Geradora	Taxa de Emissão [kg/h]					
		MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	NO _x	CO	COV
CTRVV	Biodegradação	-	-	-	-	44,89	7,05
	Queima no Flare	0,29	0,29	0,29	0,09	0,10	-
Marca Ambiental	Biodegradação	-	-	-	-	0,41	36,10
	Queima no Flare	0,24	0,24	0,24	0,63	0,74	-
Total		0,53	0,53	0,53	0,72	46,14	43,15

As emissões atmosféricas provenientes da queima de resíduos em lixões à céu aberto e oriundas da decomposição de matéria orgânica nesses locais, não foram quantificadas devido à insuficiência de dados para realizar tal estimativa.

Figura 3.3.2.1 – Localização dos Aterros Sanitários Existentes na RGV



3.3.3 ESTOCAGEM, TRANSPORTE E COMERCIALIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS

As emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) provenientes das atividades de estocagem, transporte e comercialização de combustíveis foram computadas no inventário da RGV. Neste grupo de fontes emissoras incluem-se as distribuidoras e envasadoras de GLP, terminais de estocagem de combustíveis e postos de combustíveis.

❑ ENVASADORAS DE GLP

O inventário de emissões fugitivas de COV em empresas envasadoras de gás liquefeito de petróleo foi realizado considerando o percentual da perda de gás (vazamento) para a atmosfera, baseado em dados operacionais fornecidos pelas empresas.

A Tabela 3.3.3.1 apresenta as emissões fugitivas de compostos orgânicos voláteis das empresas envasadoras de GLP.

Tabela 3.3.3.1 – Taxas de Emissões de Envasadoras de GLP

Empresa	COV [kg/h]
NACIONAL GÁS BUTANO DISTRIBUIDORA LTDA.	13,4
SHV GÁS BRASIL	26,4
Total	39,8

❑ TERMINAIS DE ESTOCAGEM DE COMBUSTÍVEIS

As emissões fugitivas de COV em terminais de estocagem de combustíveis são lançadas para atmosfera pelos respiros existentes no tanque, principalmente durante o seu abastecimento e descarregamento.

As emissões provenientes destes terminais foram quantificadas de acordo com os modelos de emissão publicados pela EPA (2010), considerando dados operacionais e características dos tanques e líquidos estocados, dentre as quais se destacam:

- ❑ Tipo de tanque (teto fixo ou flutuante);
- ❑ Quantidade de combustível movimentada em cada tanque;
- ❑ Tipologia dos combustíveis armazenados (etanol, gasolina, óleo diesel e óleo combustível marítimo, etc.);
- ❑ Características físico-químicas do combustível (massa molecular de vapor, temperatura e pressão) e do armazenamento (volume do tanque, pressão do tanque taxa de insolação, etc.).

Os dados necessários para o cálculo da taxa de emissão foram obtidos junto às empresas inventariadas. A Tabela 3.3.3.2 apresenta a quantificação das emissões atmosféricas de COV dos pátios de armazenamento de combustíveis inventariados.

Tabela 3.3.3.2 – Taxas de Emissões de Terminais de Estocagem de Combustíveis

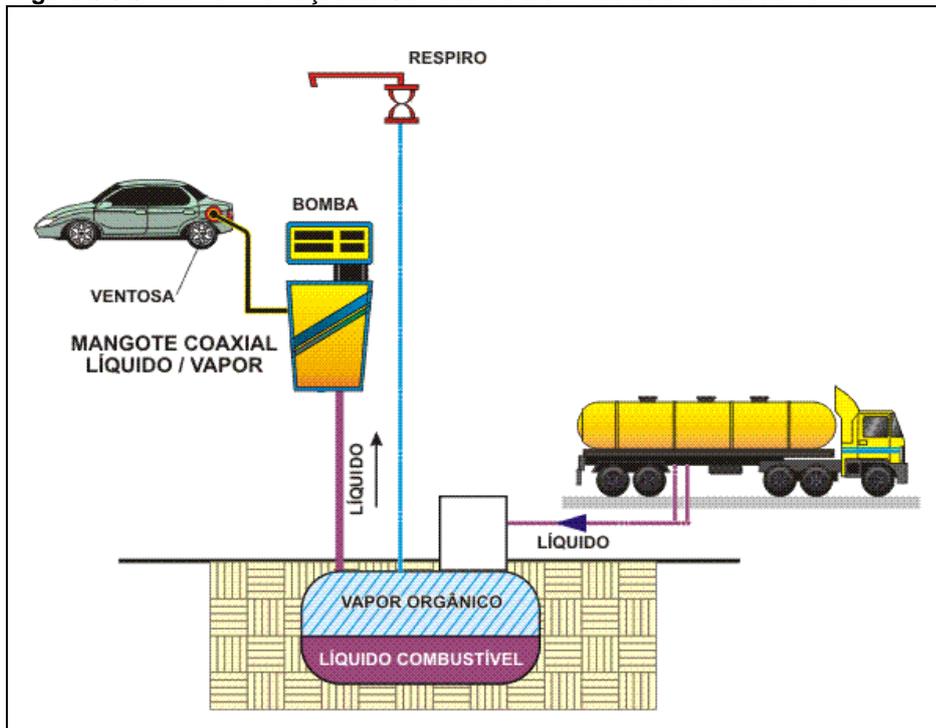
Empresa	Combustível Armazenado	COV [kg/h]
Oil Tanking	Etanol	7,25
CPVV (Companhia Portuária de Vila Velha)	Óleo diesel	4,55
TEVIT (Terminal de Vitória)	Etanol, gasolina, óleo diesel e óleo combustível	177,74
Total		189,54

❑ POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Neste estudo foram calculadas as emissões de COV provenientes dos postos de combustíveis existentes na Região da Grande Vitória. A amostragem totalizou 223 postos em funcionamento, conforme a distribuição espacial apresentada na Figura 3.3.3.2.

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 existentes nos postos e durante o abastecimento de veículos automotores, conforme apresentado na Figura 3.3.3.1.

Figura 3.3.3.1 – Movimentação de Combustíveis em Postos de Abastecimento



Fonte: Capulli e Novello, 2007

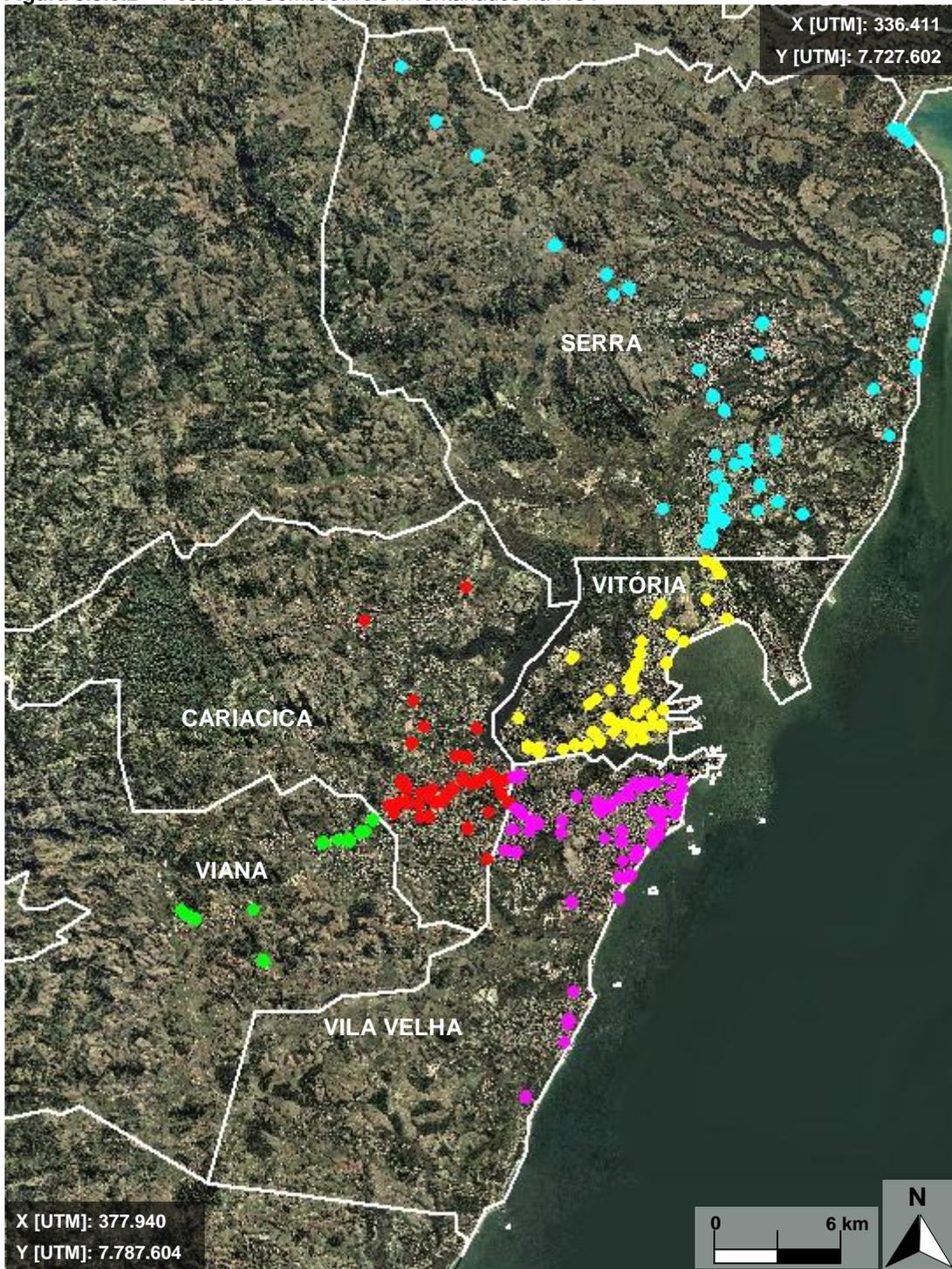
As emissões de COV provenientes dos postos de combustíveis foram calculadas com base nos fatores de emissão da EPA (2010), tendo ainda como base os volumes de combustíveis comercializados na RGV, conforme publicado pela ANP (2009).

A Tabela 3.3.3.3 apresenta o número de postos de combustíveis existentes nos municípios inventariados e a quantificação das emissões de COV.

Tabela 3.3.3.3 – Emissões Atmosféricas de Postos de Abastecimento

Município	Nº de Postos	COV [kg/h]
CARIACICA	47	9,28
SERRA	55	13,68
VIANA	12	2,50
VILA VELHA	63	19,58
VITÓRIA	46	18,77
Total	223	63,81

Figura 3.3.3.2 – Postos de Combustíveis Inventariados na RGV



Legenda:

- Serra
- Vitória
- Vila Velha
- Cariacica
- Viana

3.3.4 LOGÍSTICA – PORTOS E AEROPORTO

Nas emissões atmosféricas provenientes de aeroportos, são considerados os poluentes emitidos pelas aeronaves durante os pousos e decolagens. Para a realização do inventário do Aeroporto de Vitória (Aeroporto Eurico de Aguiar Salles) foram utilizadas informações de movimentação operacional, como o número de pousos e decolagens feitos por cada tipo de aeronave, disponibilizados pela INFRAERO (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária), além dos fatores de emissão equivalente a cada tipo de aeronave, oriundos da EPA (2010). A Tabela 3.3.4.1 apresenta a taxa de emissão de poluentes atmosféricos para o aeroporto em questão.

Tabela 3.3.4.1 – Taxas de Emissões de Poluentes do Aeroporto Eurico de Aguiar Salles

Empresa	Taxa de Emissão [kg/h]						
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Emissões de Aeronaves	1,90	1,90	1,81	2,88	30,01	44,05	9,58
Emissões de Veículos	0,04	0,02	0,02	0,02	0,81	1,18	0,18
Total	1,94	1,92	1,83	2,90	30,82	45,23	9,76

No inventário dos portos foram consideradas 8 companhias portuárias existentes na RGV, sendo que o foco principal foi quantificar as emissões atmosféricas provenientes de navios e rebocadores durante a realização de manobras e em espera no cais. Para realização do inventário dessas fontes emissoras foram utilizados fatores de emissão e metodologia de cálculo estabelecida pela *European Commission* (EC, 2002). Os dados obtidos para a realização do inventário de portos foram disponibilizados pelas companhias portuárias.

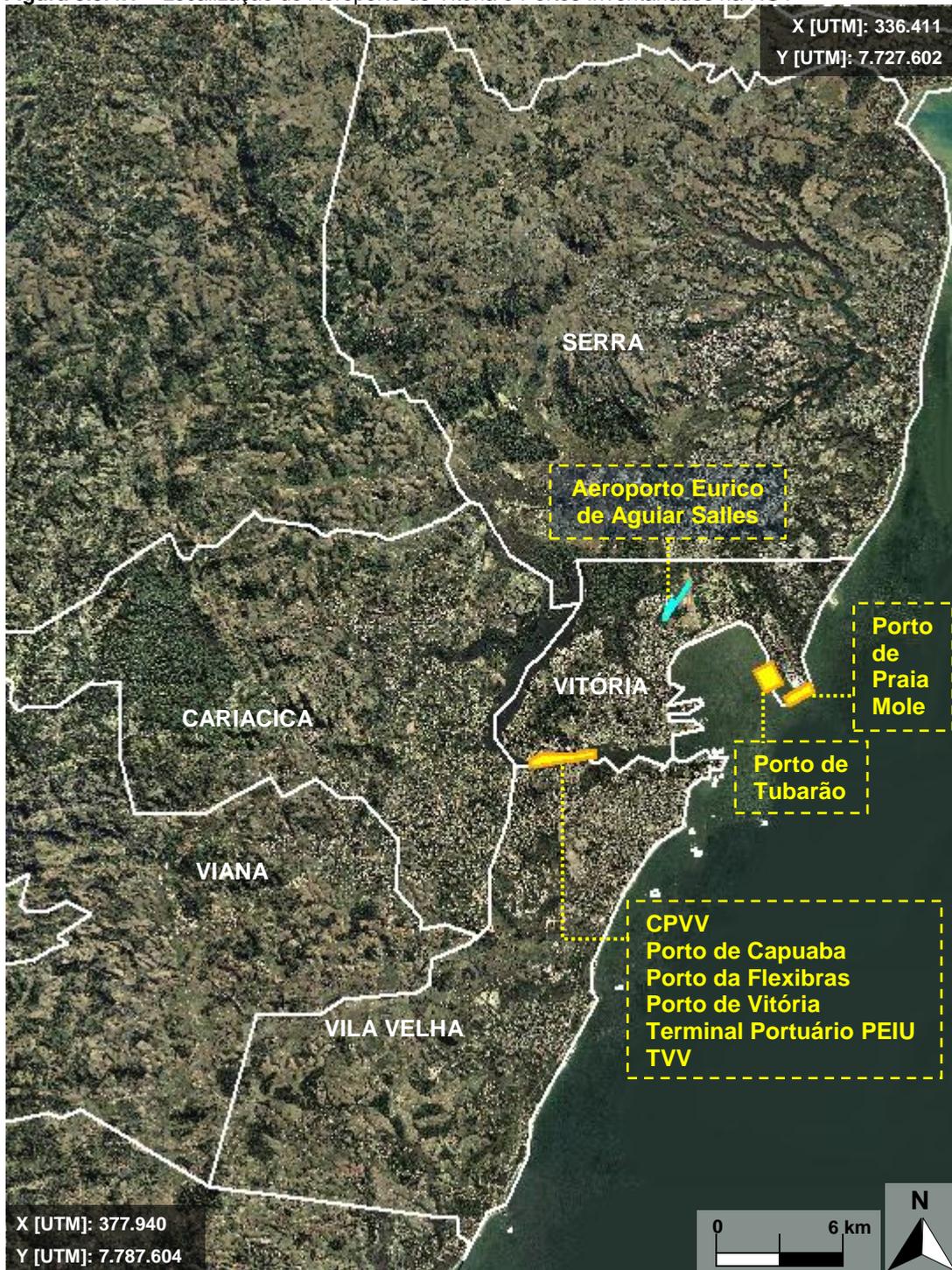
A Tabela 3.3.4.2 apresenta a totalização das emissões nos portos da RGV.

A Figura 3.3.4.1 apresenta a localização do Aeroporto de Vitória e dos portos existentes na Região da Grande Vitória.

Tabela 3.3.4.1 – Taxas de Emissões de Poluentes dos Portos da RGV

Empresa	Taxa de Emissão [kg/h]						
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Companhia Portuária de Vila Velha (CPVV)	3,51	3,49	3,44	21,22	20,57	3,02	2,12
Porto da Flexibras	1,92	1,92	1,92	14,70	15,71	2,03	1,21
Porto de Capuaba	9,64	8,43	8,08	62,17	67,96	8,53	5,05
Porto de Praia Mole	17,37	17,37	17,37	142,38	155,49	19,51	10,98
Porto de Tubarão	14,51	14,51	14,51	117,53	128,91	16,11	9,22
Porto de Vitória (CODESA)	9,47	9,47	9,47	73,72	79,76	10,15	6,01
Terminal Portuário Peiu	3,78	3,78	3,78	28,08	30,26	3,87	2,37
Terminal de Vila Velha (TVV)	11,47	11,47	11,47	85,14	97,89	11,68	7,67
Total	71,67	70,44	70,04	544,94	596,55	74,90	44,63

Figura 3.3.4.1 – Localização do Aeroporto de Vitória e Portos Inventariados na RGV



3.3.5 INVENTÁRIO DE EMISSÕES BIOGÊNICAS

As seções anteriores apresentaram e quantificaram as emissões de poluentes atmosféricos das principais tipologias de fontes de origem antropogênica existentes na RGV. Contudo, a natureza, através de seus processos bioquímicos, também gera poluentes atmosféricos que interagem para a definição da qualidade do ar. As fontes de emissões biogênicas caracterizam-se por serem oriundas de atividades biológicas, representando uma boa parcela das emissões das fontes naturais. As emissões biogênicas incluem compostos orgânicos, aerossóis, óxidos de nitrogênio, dentre outros poluentes.

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

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

O modelo de emissão biogênica MEGAN calcula distribuições detalhadas das espécies de vegetação, processos de cobertura, e outros fatores ambientais para simular as emissões dos gases biogênicos. Logo, ele é capaz de estimar a taxa de emissão de gases produzidos pela biosfera terrestre para cada hora modelada, utilizando informações como tipo de vegetação, índice de área foliar, fatores de emissão, temperatura do ar ambiente, radiação solar, densidade de fluxo de fóton fotossintético, dentre outros. O MEGAN está preparado para tratar 138 compostos químicos agrupados em 20 famílias, facilitando o tratamento por parte do modelo do comportamento que cada composto tem no contexto de emissões biogênicas. A Tabela 3.3.5.1 apresenta as famílias de compostos resolvidos pelo MEGAN.

Tabela 3.3.5.1 – Famílias de Compostos do MEGAN

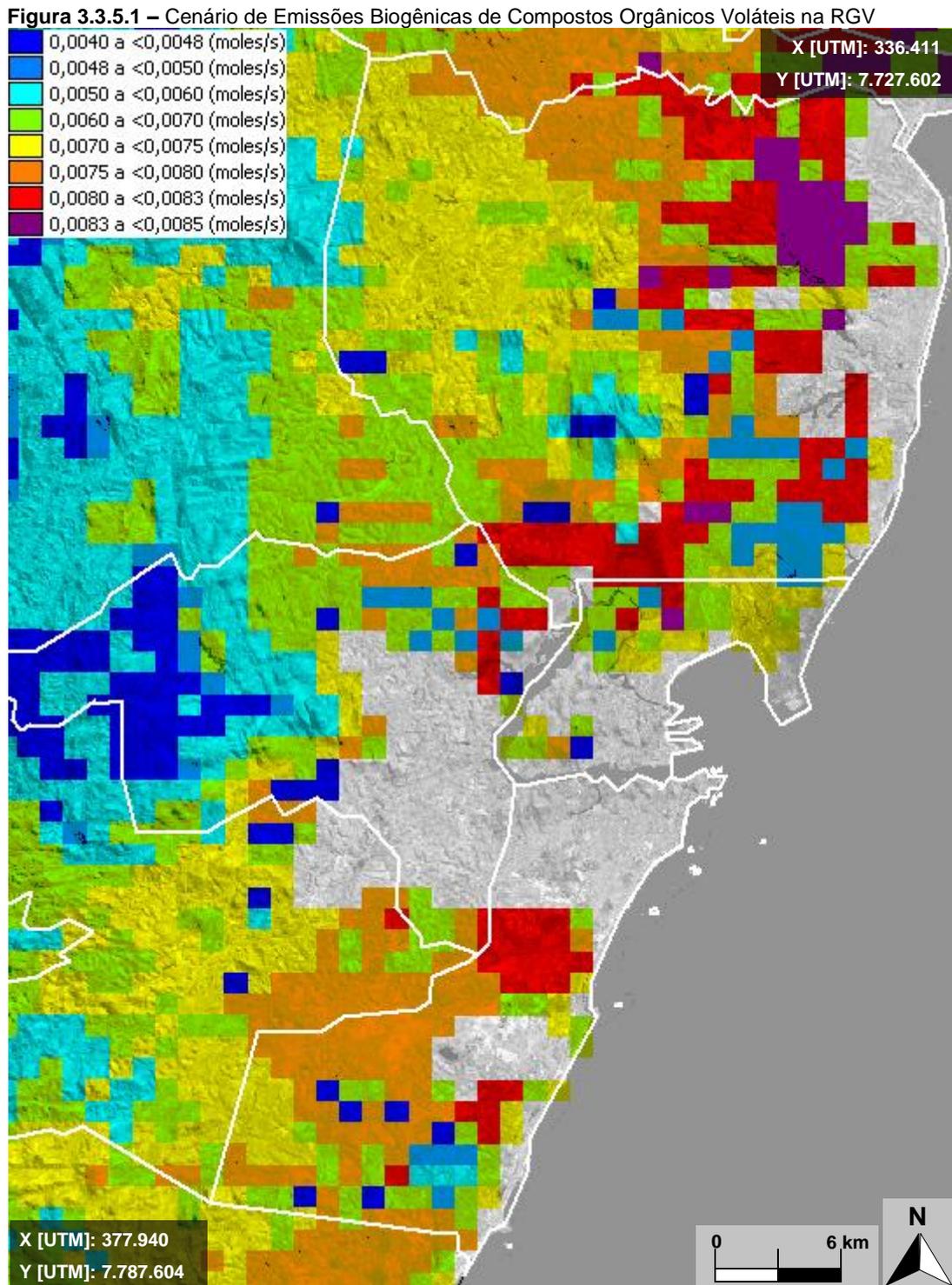
Famílias	Siglas	Famílias	Siglas
Isoprene	ISOP	b-Caryophellene	BCAR
Methyl Butenol	MBO	Methanol	MEOH
Myrcene	MYRC	Acetone	ACTO
Sabinene	SABI	Acetaldehyde	ACTA
Limonene	LIMO	Formaldehyde	FORM
3-Carene	3CAR	Methane	CH4
Ocimene	OCIM	Nitrogen Oxide	NO
b-Pinene	BPIN	Monoterpenes	OMTP
a-Pinene	APIN	Sesquiterpenes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

Fonte: Guenther et al., 2006

As emissões biogênicas variam em função das condições meteorológicas. Dessa forma, o modelo MEGAN gera resultados dinâmicos que são muito úteis para análise conjunta e entrada de modelos de simulação da qualidade do ar, como o caso do CMAQ.

Para exemplificar os tipos de resultados obtidos com a modelagem das emissões biogênicas, a Figura 3.3.5.1 apresenta as emissões médias de COV computadas

considerando 8760 cenários de emissões médias de 1 hora computadas para o ano de 2009.



3.4 SÍNTESE DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA RGV

Nesta seção os resultados do inventário de emissões atmosféricas da RGV são apresentados de forma resumida, demonstrando a representatividade dos grupos de fontes emissoras existentes na RGV.

Na Tabela 3.4.1 são apresentados os totais de emissões dos poluentes inventariados para cada uma das atividades antropogênicas analisadas neste estudo.

Tabela 3.4.1 – Taxas Médias de Emissões de Poluentes para as Atividade Inventariada

Atividade	Taxa de Emissão [kg/h]						
	MP	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Industrial - Alimentícia	4,8	3,7	3,1	3,1	19,0	9,0	0,7
Industrial - Produtos Minerais	78,5	43,5	15,5	9,4	22,8	40,7	2,7
Industrial - Química	9,9	9,3	3,7	20,2	6,8	66,1	269,6
Industrial - Minerio-Siderúrgica	954,4	538,2	271,5	2.536,0	2.369,8	15.841,3	256,1
Total de Emissões Industriais	1.047,5	594,7	293,8	2.568,7	2.418,4	15.957,0	529,0
Veiculares - Escapamento e Evaporativa	107,0	107,0	107,0	46,2	1.663,0	15.965,8	1.960,7
Veiculares - Desgaste de Pneus	41,9	41,9	41,9	-	-	-	-
Veiculares - Ressuspensão de Partículas	2.742,7	1.904,2	944,2	-	-	-	-
Total de Emissões Veiculares	2.891,6	2.053,1	1.093,1	46,2	1.663,0	15.965,8	1.960,7
Logística (Portos e Aeroportos)	73,6	72,4	71,9	547,8	627,4	120,1	54,4
Estoque e Distribuição de Combustíveis	-	-	-	-	-	-	293,2
Emissões Residenciais e Comerciais	2,0	1,1	1,1	2,0	32,0	20,9	752,5
Aterros Sanitários	0,5	0,5	0,5	-	0,7	46,1	43,2
Outras Emissões	3,0	2,6	2,1	1,2	9,0	11,2	0,8
Total de Emissões - RGV	4.018,2	2.724,4	1.462,6	3.165,9	4.750,4	32.121,2	3.633,8

As Figuras 3.4.1 a 3.4.7 apresentam as contribuições percentuais de cada grupo de fontes emissoras para as emissões dos poluentes MP, MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂, NO_x, CO e COV, respectivamente.

Com relação às emissões de material particulado (Figuras 3.4.1 a 3.4.3) identifica-se a polarização das principais emissões entre as emissões veiculares, decorrentes da ressuspensão de partículas correspondendo a aproximadamente 70% das emissões, e a indústria minero-siderúrgica que responde por cerca de 20%. Com relação ao material particulado, destaca-se ainda o incremento da representatividade das emissões veiculares advindas de escapamento dos veículos para as frações mais finas (MP_{2,5}).

Figura 3.4.1 – Distribuição das Taxas de Emissões de MP na RGV

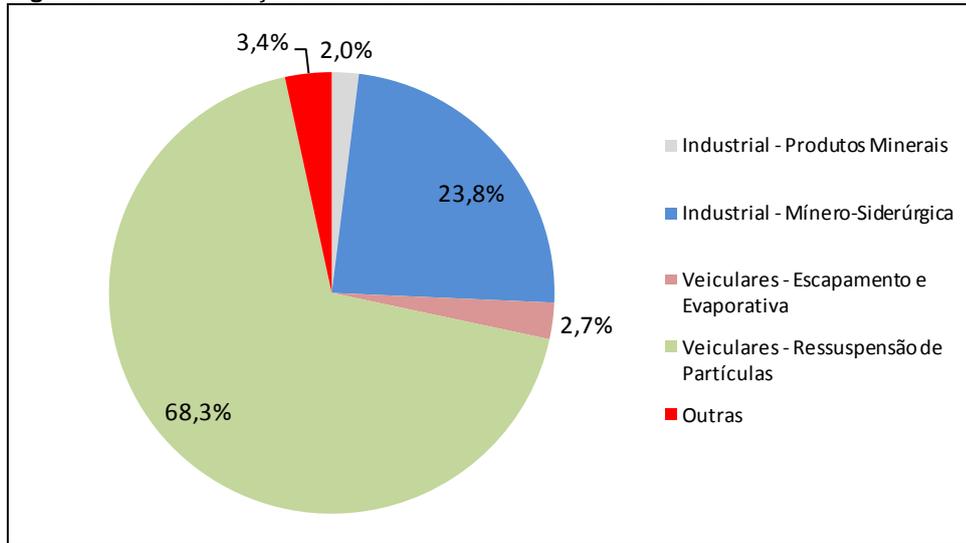


Figura 3.4.2 – Distribuição das Taxas de Emissões de MP₁₀ na RGV

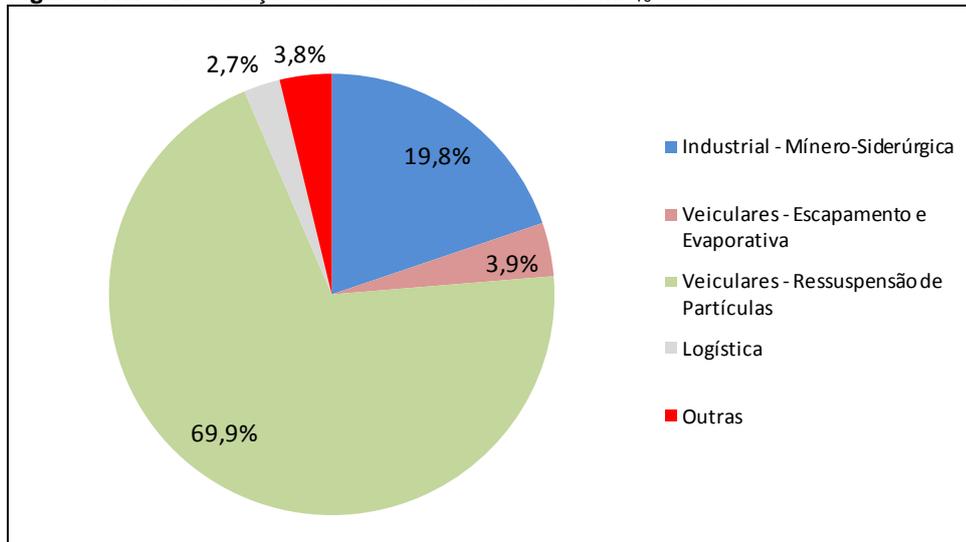
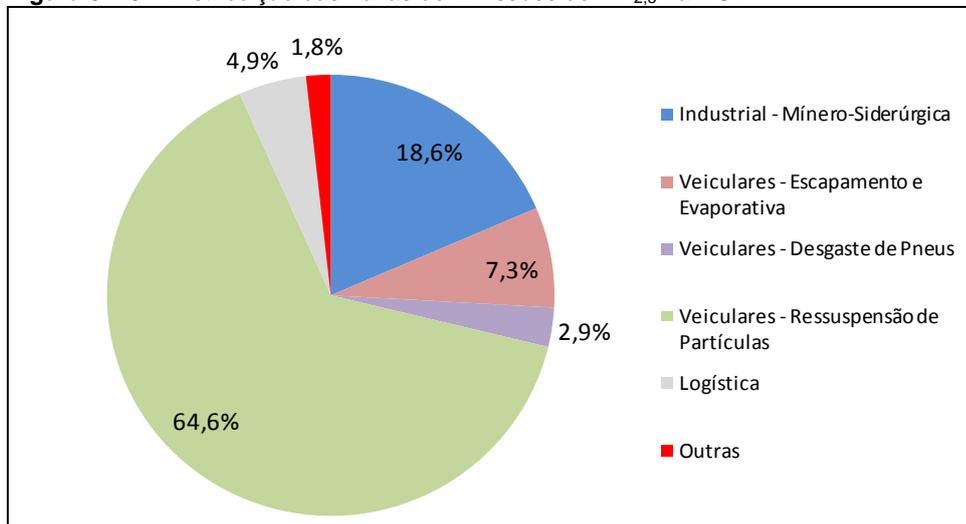
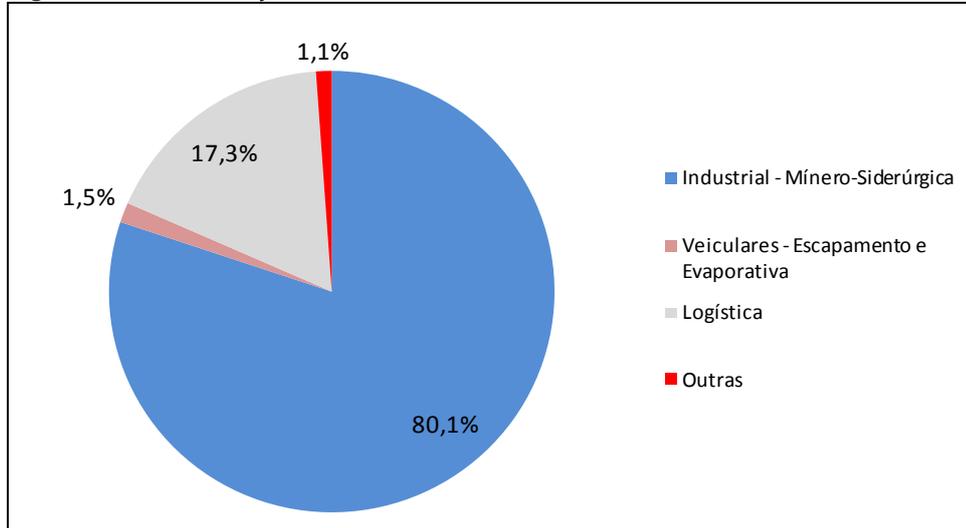


Figura 3.4.3 – Distribuição das Taxas de Emissões de MP_{2,5} na RGV



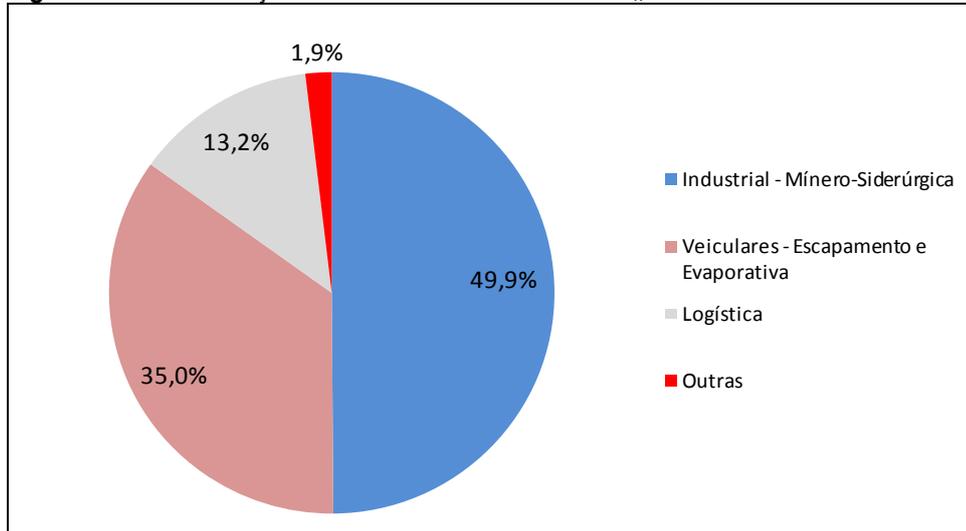
As emissões de SO₂ da RGV (Figura 3.4.4) são fortemente atribuídas à indústria minero-siderúrgica e à atividade logística (principalmente naval). Esta atribuição relaciona-se ao consumo de combustíveis com elevados teores de enxofre na matriz energética das plantas industriais e da mesma forma nos navios e rebocadores.

Figura 3.4.4 – Distribuição das Taxas de Emissões de SO₂ na RGV



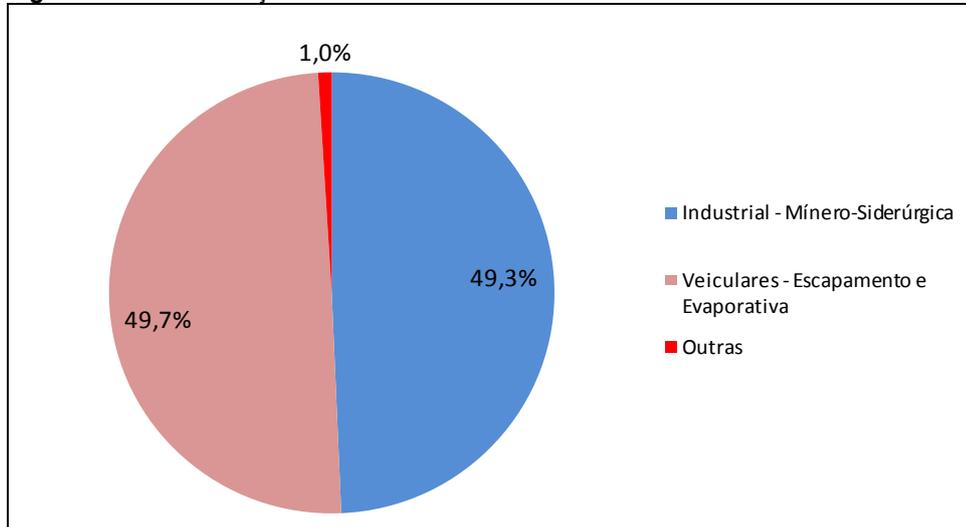
As emissões de NO_x da RGV (Figura 3.4.5) são atribuídas em ordem de importância às emissões advindas da indústria minero-siderúrgica (49,9%), emissões veiculares (35,0%) e atividade logística (13,2%).

Figura 3.4.5 – Distribuição das Taxas de Emissões de NO_x na RGV



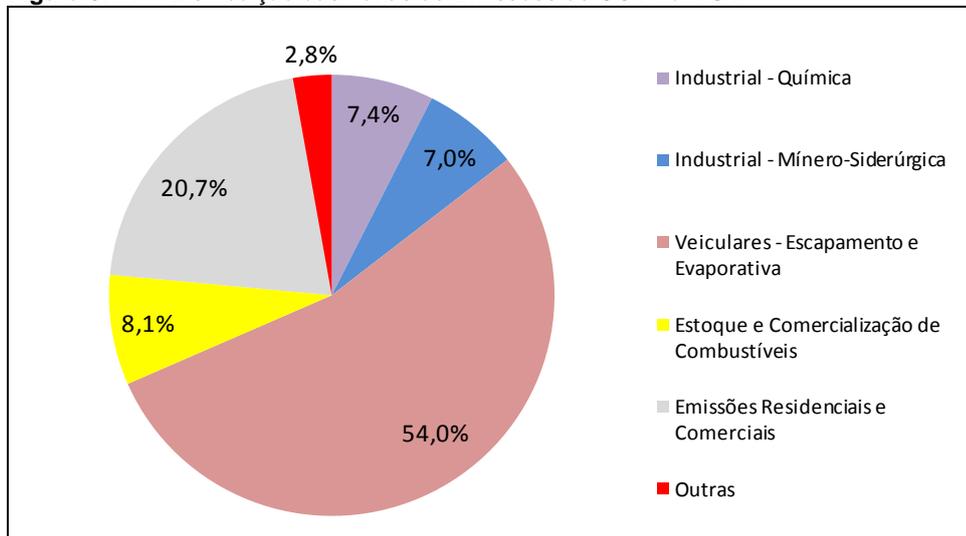
As emissões de CO (Figura 3.4.6) se dividem em indústria mínero-siderúrgica e emissões veiculares, com atribuição de aproximadamente 50% para cada um dos grupos.

Figura 3.4.6 – Distribuição das Taxas de Emissões de CO na RGV



As emissões de COV (Figura 3.4.7) apresentam a distribuição mais heterogênea com relação às atividades emissoras. As emissões veiculares respondem por 54% das emissões, seguidas das emissões residenciais e comerciais com 20,7%, estoque e comercialização de combustíveis com 8,1%, indústria química com 7,4% e indústria mínero-siderúrgica com 7,0%.

Figura 3.4.7 – Distribuição das Taxas de Emissões de COV na RGV



4. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A RGV é dotada de uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr), em operação contínua há 10 anos. A Tabela 4.1 apresenta a relação de estações e parâmetros medidos na RAMQAr da RGV.

Tabela 4.1 - Estações Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar – RAMQAr-RGV

Estação	Parâmetros Medidos
Laranjeiras	PTS, PI, NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂ , CO, O ₃
Carapina	PTS, PI
Jardim Camburi	PTS, PI, NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂
Enseada do Suá	PTS, PI, NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂ , CO, HCnM, HCT, CH ₄ , O ₃
Vitória - Centro	PTS, PI, NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂ , CO, HCnM, HCT
Vila Velha - IBES	PTS, PI, NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂ , CO, HCnM, HCT, CH ₄ , O ₃
Vila Velha - Centro	PI, SO ₂
Cariacica	PTS, PI, NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂ , CO, O ₃

Legenda:

PTS	Partículas Totais em Suspensão	NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
PI	Partículas inaláveis < 10 µm	NO	Monóxido de Nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio	SO ₂	Dióxido de Enxofre
HCnM	Hidrocarbonetos não Metano	CO	Monóxido de Carbono
O ₃	Ozônio	HCT	Hidrocarbonetos Totais

As séries temporais obtidas pela RAMQAr durante sua operação constituem um valioso banco de dados que possibilita o desenvolvimento de diversos estudos ambientais relacionados à qualidade do ar e suas implicações para o meio ambiente, bem-estar e saúde da população.

Neste estudo, de forma pioneira, o inventário de emissões da RGV foi avaliado com base na comparação estatística dos dados de concentrações medidos na RAMQAr e os resultados de modelagem da dispersão de poluentes gerada com base no inventário de emissões da RGV ora compilado.

A modelagem da dispersão de poluentes foi realizada com a aplicação do modelo CMAQ (*Community Multiscale Air Quality Modeling System*), que teve como base de dados os campos meteorológicos gerados pelo modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*), para o ano de 2009.

Neste estudo, em específico, as séries de dados de concentrações de poluentes medidas na RAMQAr (ano de 2009) foram utilizadas de duas diferentes formas, contribuindo para a análise de consistência e avaliação de qualidade do inventário de emissões ora apresentado.

1. **Background:** as concentrações medidos na RAMQAr possibilitaram a obtenção do *background* de poluentes, necessário para caracterizar os níveis basais de poluentes da RGV. Esta caracterização foi utilizada como *input* do modelo CMAQ, com a definição das condições iniciais e de fronteira.
2. **Comparação de Resultados:** os resultados de concentrações de poluentes calculados pelo modelo CMAQ foram comparados às séries temporais obtidas no ano de 2009 na RAMQAr da RGV.

Estes resultados possibilitaram a avaliação quantitativa da consistência do inventário de emissões de poluentes. Neste caso foi utilizada a premissa da reprodução das

concentrações médias de cada um dos poluentes analisados em cada uma das estações que integram a RAMQAr.

A modelagem CMAQ reproduziu as concentrações dos poluentes primários emitidos diretamente e computados no inventário e também as concentrações de poluentes secundários, como o caso do ozônio (O₃), formado na atmosfera por reações fotoquímicas envolvendo óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.

Os resultados da modelagem CMAQ reproduziram de forma aderente e adequada os níveis médios de poluentes detectados nas estações da RAMQAr, indicando adequada representatividade do inventário de emissões atmosféricas elaborado. A Tabela 4.2 apresenta a comparação entre as médias de concentrações dos poluentes estudados obtidas nas estações da RAMQAr-RGV e resultados modelados pelo CMAQ.

Vale ressaltar que, para a estação Cariacica, as ordens de grandeza das concentrações de PTS e PI não foram adequadamente reproduzidas pela modelagem tendo em vista a existência de uma condição de interferência local à qual as concentrações medidas são influenciadas positivamente pelo tráfego interno de veículos que ocorre na CEASA, o que não foi inventariado e nem considerado na modelagem. A mesma situação ocorre também relativo ao NO_x na mesma estação, tendo em vista as emissões dos caminhões e máquinas que circulam na CEASA ao lado da estação de monitoramento.

Tabela 4.2 – Resultados Médios de Concentrações dos Poluentes Avaliados – Dados Medidos na RAMQAr RGV x Dados Modelados pelo CMAQ - 2009

Estação	Concentrações Médias (2009)															
	PTS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		PI [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		SO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		CO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		HCnM [ppm] ^a		COV [ppm] ^a		O ₃ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	Medido	Modelado	Medido	Modelado	Medido	Modelado	Medido	Modelado	Medido	Modelado	Medido	Modelado	Medido	Modelado	Medido	Modelado
Laranjeiras	52,0	61,1	31,0	33,5	16,7	6,7	37,2	44,4	532,1	475,7	-	-	34,3	28,6		
Jardim Camburi	43,0	22,5	27,0	24,5	10,7	8,1	50,2	43,2	-	-	-	-	-	-		
Enseada do Suá	45,0	61,0	29,0	29,5	17,0	18,3	51,0	60,4	510,6	615,3	0,2	0,2	24,2	24,8		
Vitória - Centro	45,0	45,9	26,0	41,9	13,6	6,6	63,1	58,4	988,1	686,6	0,3	0,2	-	-		
Vila Velha - IBES	53,0	64,9	29,0	25,6	14,2	8,2	34,4	36,8	419,0	456,2	0,3	0,1	38,6	32,4		
Vila Velha - Centro	-	-	25,0	25,9	9,7	12,1	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cariacica	79,0	24,2	43,0	19,1	4,8	3,4	56,3	30,5	374,9	344,6	-	-	30,2	35,0		

Notas:

- a. a RAMQAr-RGV mede as concentrações de HCnM (hidrocarbonetos não metano) e os resultados do modelo CMAQ consideram as famílias que integram os compostos orgânicos voláteis (COV).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória foi desenvolvido através da cooperação técnica entre Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA), por intermédio do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e a empresa EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais.

O desenvolvimento do estudo referido possibilitou o aprimoramento do conhecimento acerca das emissões atmosféricas provenientes de diversos empreendimentos existentes na RGV, o que permitirá identificar de forma mais abrangente a situação da qualidade do ar desta região e também, contribuir na tomada de decisões para o controle das emissões atmosféricas.

Os inventários de emissões são a compilação de dados e informações que possibilitam a caracterização das fontes emissoras de poluentes. Considerando isto, um inventário de emissões atmosféricas deve ser visto como um banco de dados dinâmico, sujeito às variações inerentes às modificações de processos industriais e crescimentos urbano, econômico e populacional.

Analisado sob este conceito o inventário de emissões atmosféricas da RGV, escopo deste estudo, deve ser visto como um ponto de partida. Sua utilidade como ferramenta de gestão depende fundamentalmente da melhoria contínua das informações que o integram e de sua contínua atualização.

Considerando a necessidade de aprimoramento do inventário que ora se apresenta, são recomendadas as seguintes ações:

1. Incremento da frequência e abrangência da amostragem dos volumes médios e funções de tráfego das vias que integram a malha viária da RGV.
2. Desenvolvimento fatores de emissão específicos para a frota de veículos da RGV.

Estas ações contribuiriam significativamente com a melhor representação das emissões provenientes das fontes veiculares, importante grupo de emissões da RGV.

3. Aprimoramento do conhecimento acerca dos níveis de compostos orgânicos voláteis e sua respectiva especiação na atmosfera da RGV.

Este conhecimento aprimorado pode ser alcançado através do monitoramento das diversas espécies de compostos orgânicos voláteis. O conhecimento aprofundado sobre as concentrações das diferentes espécies de COV seria muito útil para a aplicação mais acurada de modelos fotoquímicos, utilizados para a avaliação da formação do ozônio troposférico.

4. Melhoria contínua das informações do inventário, com base no refinamento das informações e suprimento de lacunas identificadas no processo de obtenção de dados durante o desenvolvimento deste estudo.

5. Atualização periódica da base de dados do inventário de emissões atmosféricas, para a manutenção da representatividade das informações compiladas em consonância com o desenvolvimento da RGV.

6. EQUIPE TÉCNICA

Luiz Cláudio Donadello Santolim	Coordenação Técnica Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico
Flávio Curbani	Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico Engenheiro de Segurança do Trabalho
Andrielly Moutinho Knupp	Tecnóloga em Saneamento Ambiental Graduanda em Engenharia Química
Jonas Wilhiam Gomes e Silva	Tecnólogo em Saneamento Ambiental Graduando em Geografia
Taciana Toledo de Almeida Albuquerque	Meteorologista Doutora em Ciências Atmosféricas
Kassia Nascimento Cavassani	Tecnóloga em Saneamento Ambiental Graduanda em Engenharia Química
Tatiane Jardim Moraes	Técnica em Meio Ambiente Graduanda em Química
Renato Marinho Sartório	Tecnólogo em Saneamento Ambiental Graduando em Geografia
Márcio Lúcio Figueiredo Fonseca	Graduando em Engenharia Ambiental

7. COLABORAÇÃO TÉCNICA

Equipe do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA)

Alexsander Barros Silveira

Engenheiro Civil
Mestre em Engenharia Ambiental

Iris Teixeira Bortolotti

Estatística

Nilson Castiglioni Jr.

Engenheiro Mecânico

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional do Petróleo (ANP), 2009. **Vendas pelas Distribuidoras dos Derivados Combustíveis de Petróleo**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 19 jan. 2010.

Agência Nacional do Petróleo (ANP), 2009. **Revenda Varejista de Combustível Automotivo**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 5 jan. 2010.

Albuquerque, T.T.A. **Formação e Transporte das Partículas Finas Inorgânicas em uma Atmosfera Urbana: o Exemplo de São Paulo**. 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2010.

Campos, I.C.B; Pimentel, A.S.; Corrêa, S.M.; Arbilla, G. Simulation of Air Pollution from Mobile Source Emissions in the City of Rio de Janeiro. **Journal Brazilian Chemistry Society**. v. 3, n. 3, p. 203-208, 1999.

Capulli, D.; Novello, V. Condensação Bifásica de Vapores Orgânicos Emitidos por Operações de Transferência em Tanques de Estocagem de Combustíveis e Solventes Orgânicos. In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, IBP. Disponível em: <http://www.capmetal.com.br/novo/_artigos/pipeline.doc>. Acesso em: 20 set. 2010.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), 2009. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 4 abril 2010.

Consessionária Rodovia do Sol (RODOSOL). **Demanda Média Diária de Veículos de Passeio e Veículos Comerciais**. Abril de 2010.

Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo (DETRAN-ES), 2008. **Anuário Estatístico – Frotas**. Disponível em: <<http://www.detrans.es.gov.br>>. Acesso em: 15 fev. 2010.

Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária (INFRAERO). **Formulário de Frequência de Voos – Aeroporto Eurico de Aguiar Salles**. Abril de 2010.

Environmental Protection Agency (EPA). **Emissions Factors & AP42 – Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. U.S. EPA, 5ª Edição, v. 1: Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>>. Acesso em: 01 jan. 2010.

Environmental Protection Agency (EPA), 2005. **Landfill Gas Emissions Model (Landgem) - Version 3.02 - User's Guide**. US. EPA, Research Triangle Park, North Carolina. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 25 março 2010.

Environmental Protection Agency (EPA), 2007. **Mobile Source Emissions – Past, Present and Future - Glossary**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oms/inventory/overview/definitions.htm>>. Acesso em: 03 jan 2011.

Environmental Protection Agency (EPA), 2008. **Community Multiscale Air Quality (CMAQ) – Version 4.6, Operational Guidance Document**. Disponível em: <http://www.cmaq-model.org/op_guidance_4.6/html/index.html>. Acesso em: 13 nov. 2010.

Environmental Protection Agency (EPA). **Documentation for Aircraft Component of the National Emissions Inventory**. U.S. EPA, Emissions, Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Division, North Carolina, 2010.

E-Sampler Operation Manual, Met One Instruments, Inc.

European Commission (EC). **Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community – Final Report**. Produced by Entec UK Limited, 2002

European Commission (EC). **Reference Documents**. Disponível em: <<http://eippcb.jrc.es/reference/>>. Acesso em: 01 dez. 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2009. **IBGE Estados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2000. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 agosto 2010.

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), 2009. **Normais Climatológicas para o Estado do Espírito Santo**. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/>>. Acesso em: 24 jul. 2010.

Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), 2010. **Espírito Santo em Mapas – Mapa de Divisão Regional do Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

Martins, L. D. **Sensibilidade da Formação do Ozônio Troposférico às Emissões Veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. 219 f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2006.

National Center for Atmospheric Research (NCAR). **A description of the Advanced Research WRF (ARW), Version 3**. Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Colorado, USA, 2008. Disponível em: <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf>.

National Centers for Environmental Prediction (NCEP). **Global Forecast System (GFS)**. National Weather Service, USA, Maryland. Disponível em: <<http://nomads.ncep.noaa.gov/>>. Acesso em: 6 jun. 2010.

Prefeitura Municipal da Serra (PMS), 2009. **Empresários serranos se reúnem para discutir gestão compartilhada**. Disponível em: <<http://www.serra.es.gov.br/>>. Acesso em: 15 set. 2010.

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), 2007. **Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) - Version 2.02**. USA. Disponível em: <<http://acd.ucar.edu/~guenther/MEGAN/MEGAN.htm>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

Weather Research and Forecasting (WRF). **WRF Models Users Page**. Disponível em: <<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users>>.

9. APÊNDICES

Os apêndices citados no Inventário foram agrupados e inseridos em um CD para armazenagem devido ao grande número de páginas. A seguir são apresentados documentos contidos no referido CD.

APÊNDICE A – Memorial de Cálculo das Fontes Emissoras da RGV

APÊNDICE B – Inventário de Emissões Pontuais e Difusas

APÊNDICE C – Inventário de Emissões Veiculares

APÊNDICE D – Classificação das Atividades Produtivas Inventariadas