



dependem das variáveis de controle, as quais podem ser modificadas pelo usuário para fornecer uma estimativa exata dependendo do tipo de aplicação. Emissões totais são determinadas pela soma das emissões a partir de três diferentes fontes: operação térmica, fase de aquecimento (partida a frio) e a evaporação de combustível:

$$E_{total} = E_{queste} + E_{frio} + E_{evaporação} \quad (1)$$

Onde  $E_{total}$  é a emissão total de qualquer poluente para a resolução espacial e temporal da aplicação,  $E_{queste}$  é a emissão durante a operação térmica,  $E_{frio}$  é a emissão durante a operação térmica transiente (partida a frio) e  $E_{evaporação}$  é a emissão a partir da evaporação de combustível (veículos a gasolina).

Com relação às condições de operação, o modelo COPERT realiza uma distinção entre condução em ambiente urbano, rural e auto-estrada para levar em conta as variações de condução dos veículos. Assim, as emissões totais em condições de operação são obtidas por:

$$E_{total} = E_{urbano} + E_{rural} + E_{auto-estrada} \quad (2)$$

COPERT é configurado de acordo com as Tabelas 1-2. A Tabela 1 apresenta as temperaturas mínimas e máximas climatológicas para a RMPA. A Tabela 2 mostra a configuração da frota de automóveis (PRÉ-PROCONVE e PROCONVE, PROCONVE II e PROCONVE III) para a RMPA, a qual é baseada no Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) (CETESB, 2005; PROCONVE, 1998). O PROCONVE foi baseado na experiência internacional dos países desenvolvidos e exige que os veículos e motores novos atendam a limites máximos de emissão, em ensaios padronizados e com combustíveis de referência. O programa impõe ainda a certificação de protótipos e de veículos da produção, a autorização especial do órgão ambiental federal para uso de combustíveis alternativos, o recolhimento e reparo dos veículos ou motores encontrados em desconformidade com a produção ou o projeto e proíbe a comercialização dos modelos de veículos não homologados segundo seus critérios.

Para a simulação foram considerados os três tipos de circulação (urbana, rodoviária e rural), com predominância de 85 % para circulação urbana. Foi considerada somente a emissão de monóxido de carbono (CO) de automóveis à gasolina, uma vez que não há dados mais precisos e completos do restante da frota. Também foi necessário classificar a frota em dois quesitos: de acordo com suas tecnologias de controle de emissão e adequação da legislação Européia com a brasileira. Os fatores de emissões de monóxido de carbono foram obtidos do inventário de fontes móveis realizado pela FEPAM (Teixeira et al., 2008; Melchioris et al., 1997; Melchioris, 2000; Melchioris e Santana, 2003). O fator efeito do combustível é calculado a partir do fator de emissão quente. Existem três tipos de formas para classificar a tecnologia dos combustíveis apresentados de acordo com o ano de consumo da frota: 1996 (Combustível Base), 2000 (Fase 2000) e 2005 (Fase 2005). Neste trabalho foi utilizada a Fase 2000, que é menos poluente do que a fase 1996. Os fatores de emissão quente correspondem às emissões dos veículos quando o motor e os componentes atingiram sua temperatura de operação nominal. Os fatores de emissão fria são correspondentes às emissões do veículo quando o motor ainda não está no seu funcionamento nominal. Este fator de emissão somente é atribuído

à condução urbana, partindo do princípio que a maioria dos veículos inicia suas viagens de áreas urbanas.

**Tabela 1.** Temperaturas mínimas e máximas climatológicas para a RMPA. (Fonte: Krusche et al., 2003)

| Meses     | Temp. Mínima (°C) | Temp. Máxima (°C) |
|-----------|-------------------|-------------------|
| Janeiro   | 20                | 30                |
| Fevereiro | 19                | 29                |
| Março     | 19                | 28                |
| Abril     | 16                | 25                |
| Maio      | 13                | 22                |
| Junho     | 10                | 19                |
| Julho     | 10                | 19                |
| Agosto    | 11                | 20                |
| Setembro  | 13                | 21                |
| Outubro   | 15                | 24                |
| Novembro  | 17                | 26                |
| Dezembro  | 18                | 29                |

**Tabela 2.** Configuração da frota de automóveis (PROCONVE) para a Região Metropolitana de Porto Alegre. (Fonte: CETESB)

|   | Pré-Proconve e Proconve | Proconve II | Proconve III | Proconve IV |
|---|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| População                                 | 323761                  | 205708      | 338296       | 111348      |
| Quilometragem (km)                        | 20000                   | 20000       | 20000        | 20000       |
| Automóveis com combustível injetado (%)   | 0                       | 0           | 100          | 100         |
| Automóveis com controle de evaporação (%) | 0                       | 0           | 100          | 100         |
| Media da velocidade na região (km/h)      | 30                      | 30          | 30           | 30          |
| Circulação Urbana da frota (%)            | 85                      | 85          | 85           | 85          |
| Circulação Rural da frota (%)             | 5                       | 5           | 5            | 5           |
| Circulação Rodovias da frota (%)          | 10                      | 10          | 10           | 10          |
| Quantidade de evaporação (%)              | 10                      | 10          | 10           | 10          |

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 3 e 4 apresentam as taxas de emissões determinadas pelo modelo COPERT. A Tabela 3 mostra a taxa de emissão total de acordo com o modo de condução (urbano, rural e rodovias) e a Tabela 4 apresenta a taxa de emissão total de acordo com o fator de emissão (quente e fria). O principal objetivo deste trabalho é estimar a taxa de emissão e realizar uma comparação com dados obtidos por meio do inventário realizado pela FEPAM, publicado em Teixeira et al., 2008. De acordo com Teixeira et al. (2008) a emissão total (em toneladas) em 2004, considerando automóveis e motocicletas, é de 143.260,00 e aquela obtida pela simulação com o COPERT é de 172.785,27. Considerando-se uma aplicação preliminar do modelo COPERT, pode-se dizer que o resultado é satisfatório. A diferença de resultado pode ser explicada pelo fato de não ter sido possível adequar totalmente a

informação da frota brasileira aos padrões do modelo COPERT, o qual foi desenvolvido para aplicações na Europa. Isto está relacionado, basicamente, a diferença do combustível e a diferença dos fatores de emissão dos automóveis na Europa e no Brasil.

**Tabela 3.** Taxa de emissão total de acordo com o modo de condução calculada pelo modelo COPERT.

| Urbano (ton.) | Rodovia (ton.) | Rural (ton.) | Total (ton.)      |
|---------------|----------------|--------------|-------------------|
| 147.479,12    | 8.787,20       | 16.518,95    | <b>172.785,27</b> |

**Tabela 4.** Taxa de emissão total de acordo com o fator de emissão calculada pelo modelo COPERT.

| Quente (ton.) | Fria (ton.) | Total (ton.)      |
|---------------|-------------|-------------------|
| 133.525,65    | 39.259,62   | <b>172.785,27</b> |

#### 4. CONCLUSÃO

Na simulação foram considerados apenas os automóveis à gasolina, uma vez que não há dados mais precisos e completos do restante da frota. Em comparação com o inventário de fontes realizado pela FEPAM foi possível obter um resultado satisfatório para o poluente CO. A diferença de resultado pode ser explicada pela falta de adequação total da informação da frota brasileira aos padrões do modelo COPERT, que foi concebido para uma base de dados Européia. Os resultados deste trabalho são preliminares e a simulação deve ser aperfeiçoada. Para isto, o modelo COPERT será, ainda, analisado para se adequar na aplicação em obter informações mais precisas sobre a frota brasileira. O modelo também deve ser utilizado para determinar as emissões de outros gases.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETESB. *Relatório de qualidade do Ar do Estado de São Paulo 2005* – São Paulo. 2005
- Krusche, N.; Saraiva, J. M. B.; Reboita, M. S. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS . 1. ed. Rio Grande: Imprensa Univesitária, 2003. v. 1. 84 p.
- MELCHIORS, D.J. *A Qualidade do Ar e os Combustíveis* In: Zurita, M.L.L. e Tolfo, A.M. A Qualidade do Ar em Porto Alegre. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000. 92p.
- MELCHIORS, D.J., DALÁVIA, D., VILANOVA, L. C., 1997.- *Estimativa de Emissões por Fontes Móveis para a Região Metropolitana de Porto Alegre*, REFAP/DITEG/SEDEP, Porto Alegre.
- MELCHIORS, D J, SANTANA, E. *Inventário de Emissões Atmosféricas Veiculares na Região Metropolitana de Porto Alegre em 2001* – Porto Alegre: FEPAM, 2003.

*Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), <http://www.ibama.gov.br/proconve/divs/pubProconve.pdf>, 1998.*

TEIXEIRA, E.C.; FELTES, S.; SANTANA, E.R.R. **Estudo das Emissões de Fontes Moveis na Região Metropolitana de Porto Alegre**, Rio Grande do Sul in <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/No%20Prelo/Artigos/AR06532.pdf>, 2008.