

## QUALIDADE DO AR

### INVENTÁRIO DAS EMISSÕES VEICULARES GERADAS NO TRASLADO DA COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA PARA O CAMPUS DA UNIFAL-MG EM POÇOS DE CALDAS-MG

**Ingrid Jale da Silva Sales** – [ingrid.jale@gmail.com](mailto:ingrid.jale@gmail.com)  
Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG

**Raíra Chefer Apolinario** – [raira929@gmail.com](mailto:raira929@gmail.com)  
Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG.

**Armando Ferreira Maciel** – [armandofmaciel@gmail.com](mailto:armandofmaciel@gmail.com)  
Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG

**Camilla Mendonça Tonelli** – [tonellimcamilla@gmail.com](mailto:tonellimcamilla@gmail.com)  
Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG

**Claudio Antônio de Andrade Lima** – [claudio@unifal-mg.edu.br](mailto:claudio@unifal-mg.edu.br)  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

**Homero Alfredo da Costa Júnior** – [homerojunior1993@gmail.com](mailto:homerojunior1993@gmail.com)  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

**João Vitor Rodrigues de Souza** – [jsouza.rois@gmail.com](mailto:jsouza.rois@gmail.com)  
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

**Resumo:** Este trabalho inventariou as emissões veiculares geradas no traslado da comunidade universitária do centro da cidade para o *campus* de Poços de Caldas da UNIFAL-MG. Os resultados foram agrupados por segmento de usuários do transporte e categorias de veículos o que possibilitou estabelecer diretrizes para a mitigação e neutralização das emissões geradas. Utilizou-se dos registros de controle de acesso ao *campus* e de métodos estatísticos com aplicação de questionário especificamente elaborado para caracterização deste traslado. Estimou-se a carga poluidora gerada diariamente pelo transporte através de fatores de emissão obtidos por levantamento bibliográfico. O inventário contemplou as emissões de poluentes veiculares geradas nas categorias de transporte por ônibus, vans e veículos de passeio e pelos segmentos da comunidade universitária, alunos, professores e técnicos. Como resultados obteve-se diversos indicadores ambientais do Tipo PER (Pressão-Estado-Resposta) que podem contribuir na conscientização da comunidade universitária e subsidiar políticas e programas institucionais que visem melhor desempenho ambiental no transporte universitário.

**Palavras-chave:** Qualidade do ar, Poluição do ar, Emissões veiculares.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O setor de transportes é considerado um dos maiores agravadores da poluição do ar. Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (2015), o Brasil, durante ao longo dos anos de 2002 e 2015, teve uma evolução na sua frota veicular de 23.036.041 para 48.755.005 automóveis. Na cidade de Poços de Caldas, em Minas Gerais, local de estudo do presente trabalho, a frota de carros evoluiu de 32.184 em 2002 para 63.330 em 2015 (DENATRAN, 2015), sem considerar a significativa frota veicular da população flutuante da cidade, uma vez que a mesma atrai muitos turistas e estudantes de outros municípios.

O crescimento econômico ocorrido na última década (SEGALLA & PEREZ, 2012) aumentou significativamente as emissões de gases poluentes. Embora realizadas algumas medidas preventivas e compensativas, é necessário quantificar essas emissões devido à interferência dessas nas condições de vida do homem e no meio ambiente.

Como a emissão de gases poluentes se origina principalmente devido ao processo de combustão incompleta, padrões ambientais progressivos e a inspeção veicular revestem-se de importância pois induzem o avanço tecnológico. O Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) foi criado com o intuito de definir os primeiros limites de emissão dos poluentes e contribuir para o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar (MMA, s.d.).

Para o PROCONVE os principais poluentes veiculares são monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC), material particulado (MP), aldeídos (CHO), óxidos de enxofre (SOx) e compostos de chumbo (Pb). O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) mesmo considerado de baixa toxicidade é priorizado por compor os gases de efeito estufa (GEEs).

Neste contexto, o presente trabalho reporta os resultados do inventário das emissões de gases poluentes veiculares gerados pela comunidade universitária no traslado do centro da cidade até o *campus* de Poços de Caldas da UNIFAL-MG, possibilitando a geração de indicadores de desempenho ambiental para as opções de transporte disponibilizadas aos segmentos docente, discente, técnicos administrativos e terceirizados.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho definiu como área de estudo o *campus* Avançado de Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), localizado na Rodovia José Aurélio Vilela, BR 267, Km 533, 11999 - Cidade Universitária - Poços de Caldas/MG, com coordenadas geográficas: latitude 21°49'12.00"S e longitude 46°39'44.67"O, ocupando uma área de aproximadamente 500.000 m<sup>2</sup>, em destaque na imagem de satélite apresentada na Figura 1.



Figura 1 – Vista por satélite da Cidade Universitária Poços de Caldas – MG.

Fonte: Google Earth.

Embasados no levantamento teórico dos fatores de emissão por quilômetro rodado, buscou-se padronizar a quantificação das emissões geradas pela comunidade universitária no trajeto comum Centro – Cidade Universitária, como apresentado na Figura 2, com distância equivalente de 15 km.

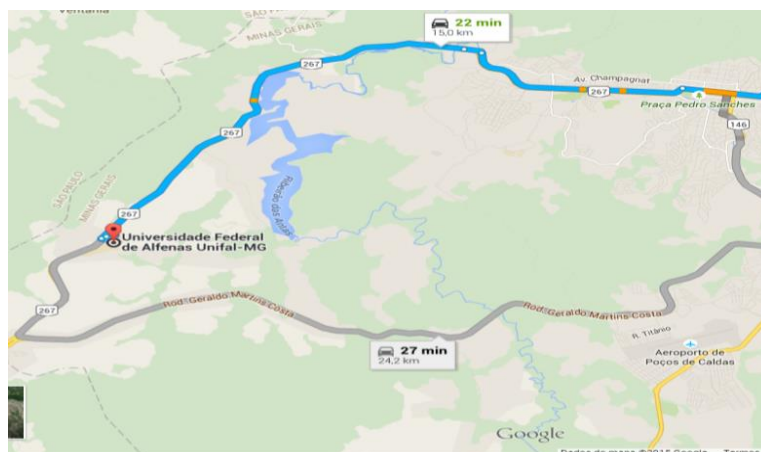


Figura 2 – Trajeto de 15 km Centro / Cidade Universitária.

Fonte: Google Maps.

Como primeira ação do inventário realizou-se um levantamento exploratório no *campus*, aplicando 20 questionários piloto com o intuito de obter uma caracterização inicial do transporte ouvindo os motoristas de veículos que circulam no local. O questionário foi aplicado na portaria, na qual houve a presença de colaboradores externos, que ficaram responsáveis por anotar todos os veículos que entravam no *campus* diariamente. O questionário utilizado é apresentado na Figura 3.



**QUESTIONÁRIO**

☐ Aluno   ☐ Professor   ☐ Técnico   ☐ Funcionário  
Terceirizado

1) Combustível mais utilizado:  
☐ Gasolina  
☐ Alcool  
☐ Gás Natural  
☐ Diesel

2) Quilômetros rodados por dia (ida e volta): \_\_\_\_\_

3) Número médio de passageiros : \_\_\_\_\_

4) Modelo e Ano do veículo: \_\_\_\_\_

Figura 3 – Questionário utilizado na caracterização do transporte.

Desse modo, distribuíram-se os questionários, segundo os Processos de Amostragem Estratificada, nas categorias aluno, professor, técnico e terceirizado. Tal divisão foi feita analisando-se o perfil de cada grupo no uso de veículos para quantificar as emissões de poluentes dos mesmos e realizar comparações entre categorias por meio dos indicadores de desempenho ambiental.

Além disso, analisaram-se as vans e ônibus, através do mesmo questionário, porém com alteração apenas no tipo de combustível. A empresa responsável pela linha de ônibus que atende o *campus* forneceu todos os dados necessários para a caracterização desta opção de transporte.

O parâmetro da população foi estimado por dois valores obtidos por cálculo, através de dados amostrais, formando o intervalo de confiança dentro do qual espera-se obter o valor verdadeiro. Portanto, através da distribuição normal, tem-se que o intervalo de confiança para uma média  $\mu$  da população é expresso pela Equação (1) (FERREIRA, 2009):

$$P \left( -Z \frac{\alpha}{2} < Z < Z \frac{\alpha}{2} \right) = 1 - \alpha \quad (1)$$

sendo  $\alpha$  o nível de significância e  $Z$  obtido através da Equação (2) (FERREIRA, 2009):

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma} \times \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

sendo  $\bar{X}$  a média da amostra,  $\mu$  a média da população,  $\sigma$  o desvio padrão da amostra e  $n$  o número de elementos da amostra.

Para dimensionar a amostra, analisaram-se os questionários piloto. Em seguida, tomaram-se as porcentagens e contabilizou-se o número de amostras para cada uma. O tamanho de amostra escolhido foi aquele com valor mais alto, uma vez que quanto maior a amostra melhor é a precisão da estimativa, definindo-a para um nível de significância “ $\alpha$ ” de 5% e com erro de estimativa “ $e$ ” de 10%.

Com isso, o número de amostras pode ser obtido através da Equação (3) (FERREIRA, 2009):

$$n = \left[ \left( Z \frac{\alpha}{2} - \sigma \right) \times \frac{1}{e} \right]^2 \quad (3)$$

Dessa forma, obteve-se como resultado um total de questionários para as amostras de carros, vans e ônibus igual a 73, 14 e 24, respectivamente. Os questionários direcionados aos carros foram respondidos somente pelos condutores dos veículos, no período de 06 a 10 de Janeiro de 2014. Assim, analisaram-se as quantidades de emissões de poluentes por carros, vans e ônibus municipal, separando-os por categoria.

Para quantificar as emissões dos poluentes atmosféricos pelos veículos automotores, utilizou-se os dados referentes às Emissões veiculares no estado de São Paulo em 2014 (CETESB, 2015). Este documento disponibiliza os fatores de emissão de cada poluente atmosférico para veículos leves, comerciais leves e pesados. Sabendo-se o ano do veículo, o tipo de combustível, a quilometragem média utilizada no traslado para o *campus* e os fatores de emissões veiculares, é possível calcular as emissões totais de cada poluente através da multiplicação entre a quantidade de poluente emitido (g/km) e a quilometragem média do veículo (km).

A caracterização e elaboração dos indicadores de poluição do ar a partir do inventário realizado foram feitos a luz da metodologia apresentada por Vieira (2009) para o modelo PER (Pressão-Estado-Resposta) aplicada ao setor de transporte rodoviário.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os valores totalizados para as emissões diárias dos poluentes atmosféricos veiculares, segregados por categoria e considerando apenas um trajeto diário de 30 km, correspondente a ida e volta do *campus* partindo do centro da cidade.

Tabela 1 – Taxas de emissão diária de poluentes atmosféricos por veículo.

<b>Tipo de veículo</b>	<b>CO (g/dia)</b>	<b>Total HC (g/dia)</b>	<b>NMHC (g/dia)</b>	<b>CH4 (g/dia)</b>	<b>NOx (g/dia)</b>	<b>RCHO (g/dia)</b>	<b>MP (g/dia)</b>
<b>Carro</b>	12,79	2,25	1,60	0,63	1,52	0,13	0,02
<b>Van</b>	11,63	2,24	1,73	0,26	32,86	-	1,88
<b>Ônibus</b>	16,11	0,45	-	1,80	78,69	-	0,63

Os resultados apresentados na Tabela 1 configuram indicadores de estado que permitem acompanhar a resposta temporal de cada segmento ou de modificações na utilização da opção de transporte em termos da taxa de emissão de cada um dos poluentes estimados.

A Tabela 2 apresenta o perfil estratificado por categoria da comunidade universitária quanto a opção de transporte caracterizada no primeiro semestre de 2014. Todo o universo de alunos transportado por vans foi considerado e utilizaram-se de métodos estatísticos de estratificação de amostras e médias de ocupação para compor estes resultados para carros. O valor dos outros meios de transporte (ônibus, moto, bicicleta) foi estimado pela diferença entre o total da população de cada categoria no *campus* e os valores encontrados para a ocupação dos carros e vans. Assim, trata-se de informações primárias para servir como referencial de base temporal antes de implementação de algum plano de gestão ambiental visando a melhoria do desempenho ambiental no transporte da comunidade universitária.

Tabela 2 – Valores estimados de utilização do transporte por categoria e tipo de veículo.

<b>Categoria</b>	<b>Carro</b>	<b>Ônibus/moto/bicicleta</b>	<b>Van</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Aluno</b>	570	374	256	1200
<b>Professor</b>	72	18	0	90
<b>Técnico</b>	25	24	0	49
<b>Terceirizado</b>	19	37	0	56
<b>TOTAL</b>	686	453	256	1395

Em relação a utilização de carros neste transporte diário, pela Figura 4, observa-se a significativa diferença na média de ocupação dos veículos tipo “Carro” em cada categoria. A categoria “Aluno” apresentou uma média de ocupação superior a três passageiros e a categoria “Professor” apresentou ocupação muito próxima da unidade.

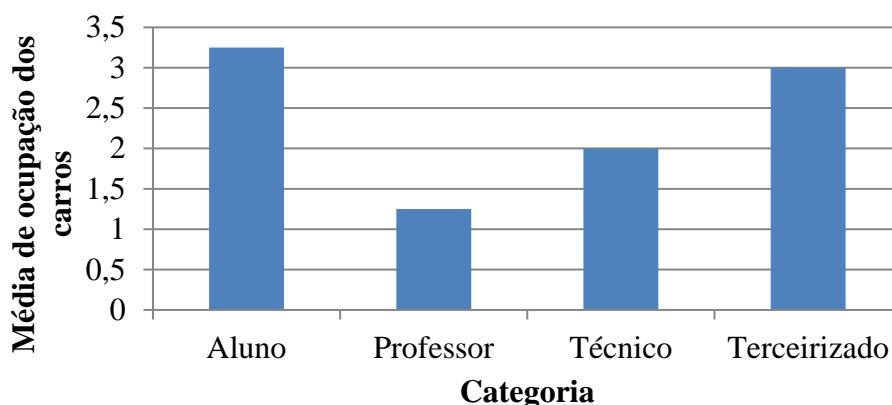


Figura 4 – Média de passageiros por veículo tipo carro.

Já a Tabela 3 representa os indicadores de resposta a esta situação de utilização de carros por alunos e professores por dia, quando se observa taxas de emissão bem menores, sendo em alguns casos, como para o poluente monóxido de carbono (CO), de quase 50%.

Tabela 3 – Emissões diárias per capita de poluentes automotivos

<b>Emissões Carro (g/ind. Dia)</b>	<b>CO</b>	<b>Total HC</b>	<b>NMHC</b>	<b>CH4</b>	<b>NOx</b>	<b>RCHO</b>
<b>Professor</b>	0,2581	0,0412	0,0274	0,0123	0,0230	0,0025
<b>Alunos</b>	0,1301	0,0231	0,0167	0,0063	0,0164	0,0013
<b>% redução</b>	49,55	43,71	38,798	48,03	28,69	47,75

Cabe ainda ressaltar dois fatores determinantes para as variações de emissões *per capita* dentre as categorias do presente estudo: o ano e a média de ocupação do veículo. Os veículos mais antigos tendem a apresentarem maiores emissões por não disporem de tecnologias modernas mitigadoras de emissão de gases poluentes. A idade da frota de carros utilizados pelos professores apresentou-se semelhante a utilizada pelos alunos. Foram



computados veículos utilizados por alunos com taxas de emissão até 5 vezes superiores à da idade média da frota, todavia o elevado número de veículos atenuou essa influência. A ocupação racional dos carros pelos alunos foi a condição determinante das menores emissões *per capita*s.

Tal situação corrobora para que mais carros da categoria de “Professor” circulem, favorecendo a maior emissão de poluentes gerados por dia causados por esta categoria da comunidade universitária.

Os resultados obtidos quando divulgados podem propiciar que a comunidade repense sobre opções de utilização do transporte até o *campus*. O incentivo ao transporte coletivo, sendo carona ou transporte público, são algumas das medidas que se podem ser adotadas com vistas à diminuição de emissões de gases poluentes veiculares.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização de um amplo inventário sobre as emissões de poluentes veiculares gerados pelas opções de transporte por ônibus, vans e veículos de passeio e pelos segmentos da comunidade universitária, alunos, professores e técnicos foi possível gerar indicadores ambientais dos Tipos PER (Pressão-Estado-Resposta).

Após o tratamento dos dados obtidos constatou-se que o ano de fabricação dos veículos utilizados interfere nitidamente na variação da quantidade de poluentes emitidos, além da média de ocupação dos mesmos. Isso ocorre devido à melhoria tecnológica e da implementação do PROCONVE que repercutiram no aprimoramento das eficiências dos motores e, por conseguinte, na diminuição das taxas permitidas para emissões, respectivamente.

Os indicadores gerados apontaram caminhos para que a comunidade universitária da UNIFAL-MG possa amenizar as emissões veiculares geradas, como piores indicadores para o segmento dos docentes pelo fato de apresentarem menores médias de ocupação dos veículos. Partindo de medidas simples, como incentivo ao transporte coletivo e às caronas, pode-se melhorar de forma significativa estes indicadores ambientais.

Os resultados deste trabalho podem corroborar ainda mais para os esclarecimentos sobre o uso racional dos meios de transporte e subsidiar ações institucionais tais como o Projeto de Sustentabilidade Ambiental – Campus Verde, onde em atendimento as diretrizes do governo federal ocorre a indução por projetos que visem o desenvolvimento sustentável e a educação ambiental no *campus* universitário.

#### 5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

CETESB. **Emissões veiculares no estado de São Paulo 2014**. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/relatorios-e-publicacoes/>>. Acesso em: 20 Abr. 2016. São Paulo: CETESB, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. **Frota de 2002 e 2015**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 07 Jul. 2015. 2015.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Universidade Federal de Lavras. Editora UFLA. Lavras, 2009.

GOOGLE EARTH PRO. 2015. **Foto espacial da Cidade Universitária no *campus* de Poços de Caldas/MG.** Acesso em: 14 Mar. 2015.

GOOGLE MAPS. 2015. **Foto do trajeto de 15 km da distância Centro / Cidade Universitária.** Acesso em: 08 Jul. 2015.

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas. **Compensação de CO2 com plantio de florestas.** Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/area-de-atuacao/compensacao-de-co2.html>>. Acesso em: 09 Jul. 2015. 2015.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PROCONVE: Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores.** Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_arquivos/proconve\\_163.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf)>. Acesso em: 13 Jun. 2015. s. d..

SEGALLA, A.; PEREZ, F. **Como os brasileiros gastam.** Disponível em: <[http://www.istoe.com.br/reportagens/195047\\_COMO+OS+BRASILEIROS+GASTAM](http://www.istoe.com.br/reportagens/195047_COMO+OS+BRASILEIROS+GASTAM)>. Acesso em: 18 Nov. 2014. N° Edição: 2210, 2012.

VIEIRA, N.R. **Poluição do Ar:** Indicadores ambientais. Rio de Janeiro. Editora E-papers - 220 páginas. 2009