

# **Estudio e Implementación de Procedimiento para Licenciamiento de Polos Generadores de Tráfico según la Capacidad Física y Ambiental de las Vías de una Red Urbana**

**Maria Cristina Fogliatti de Sinay**

Professora Titular – PhD - Instituto Militar de Ingeniería – IME, Rio de Janeiro, Brasil

**Saul Germano Rabello Quadros,**

Ing. Civil, Aluno de Posgraduación en Ingeniería de Transporte, Rio de Janeiro, Brasil

## **RESUMEN**

Este trabajo tiene por objetivo contribuir para el proceso de licenciamiento de instalaciones de emprendimientos generadores de tráfico, PGT, con la propuesta de un procedimiento que considera la capacidad física y la capacidad ambiental de las vías de una red urbana, utilizando para tanto, modelos para estimar los viajes generados, los niveles sonoros y de concentración de contaminantes atmosféricos. Para que la aplicación del procedimiento sea ágil y dinámica, fue desarrollado un aplicativo computacional en DELPHI 5 que permite el uso de banco de datos, la emisión de relatorios, la visualización gráfica y la simulación de diversos escenarios.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los automóviles son importantes medios de transporte urbano y fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos y sonoros en movimiento. El rápido proceso de urbanización e industrialización observado en Brasil en las últimas décadas, principalmente en las grandes ciudades, junto con la política de incentivo al uso del automóvil en perjuicio del transporte colectivo, vienen contribuyendo con el aumento del número de vehículos en las vías, existiendo actualmente una tasa de motorización, de aproximadamente un automóvil para cada 5 habitantes.

La proliferación de emprendimientos generadores de tráfico, construcciones urbanas como escuelas, aumento del número de automóviles en las vías y por lo tanto, el control de la instalación de los mismos es importante para reducir impactos negativos como mala circulación, contaminación atmosférica y sonora, sobre la de la área de influencia.

Actualmente, la obligación en Brasil de desarrollo de Estudios de Impactos Ambientales para licenciar la instalación de PGT no es suficiente para impedir que sucedan con frecuencia, impactos negativos de contaminantes atmosféricos y sonoros, siendo apenas evaluada la capacidad vial.

Se propone así, en este trabajo la adopción del concepto "nivel ambiental", definido por MENEZES (2000) y semejante al término "nivel de servicio": "medida cualitativa que describe las condiciones ambientales de una determinada región, conforme percibido

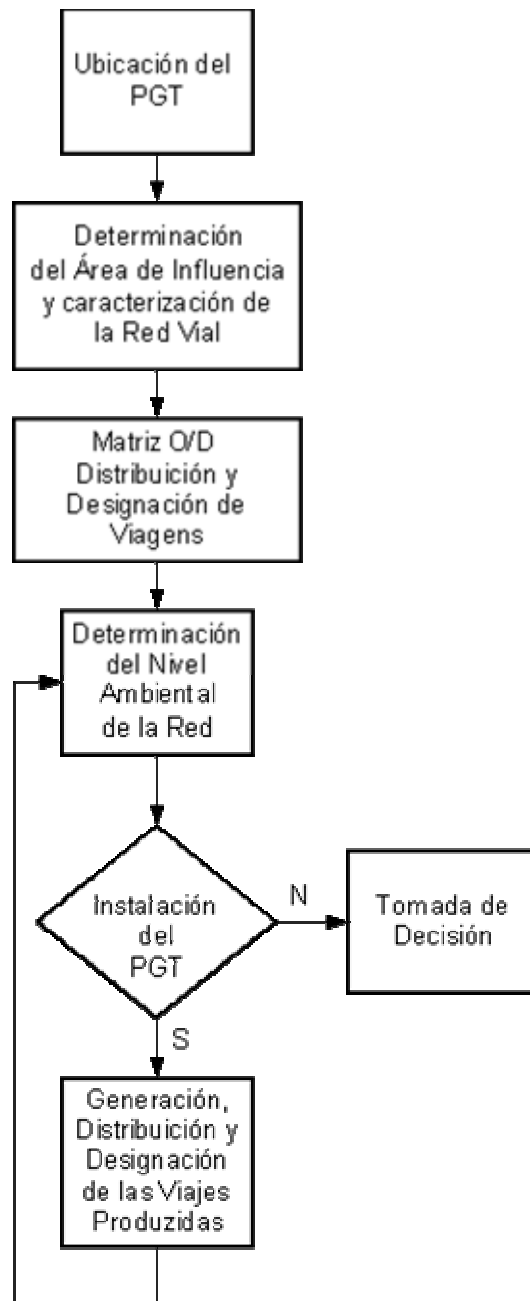
por las personas o con base en los efectos nocivos que los niveles de contaminación atmosférica y sonora provocan en la salud.”

## **2. OBJETIVO**

Debido a la importancia de los efectos negativos de la contaminación atmosférica y sonora en el medio ambiente y en especial en la salud humana, y llevándose en consideración que los actuales procesos de licenciamiento de PGT's analizan solamente los impactos provocados en la circulación de las vías de acceso al polo, este trabajo tiene por objetivo la proposición de un procedimiento que considere, también la capacidad ambiental de la área de influencia previamente determinada, estimándose, en las vías de esta área, el aumento de contaminantes atmosféricos y los niveles de ruidos originados por el tráfico generado. La comparación de los niveles de estos dos factores con los correspondientes valores definidos como satisfactorios por la Organización Mundial de Salud, OMS, (Guidelines for Air Quality and Noise, Geneva, 2000) y por la legislación ambiental del Brasil, llevará a la aceptación o no de la instalación del PGT.

## **3. ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO**

La Figura1 ilustra las etapas del procedimiento propuesto para licenciamiento de instalación de Polos Generadores de Tráfico.



**Figura 1: Etapas del procedimiento propuesto para instalación de PGT.**

Son comentadas a seguir cada una de las etapas.

### **3.1 Ubicación del PGT**

La ubicación del PGT, sus dimensiones y las actividades a ser desarrolladas son datos previos que deben ser dados al órgano licenciador por el emprendedor, con los es determinada la área de influencia del Polo.

### **3.2 Determinación del Área de Influencia**

Esta determinación es conseguida con el auxilio de isócronas (líneas de tiempo) o isócotas (líneas de distancia) a partir del ponto que representa la ubicación del PGT. Las

características físicas y operacionales de las vías inseridas en esta área deben ser levantadas para cada trecho de vía.

Esas características son: coordenadas inicial e final del trecho, sentido de viaje (mano única o doble), tipo de flujo (continuo o discontinuo), extensión, número y ancho de las bandas, ancho del acostamiento, porcentaje del volumen direccional, composición del tráfico, greide, porcentaje de zonas sin ultrapasaje permitido, velocidad límite, existencia de obstáculos central e/o lateral, tiempos dos semáforos y caracterización del flujo de personas en los locales con señalización electrónica.

Estas informaciones permiten, entre otras cosas, el cálculo de la capacidad de cada trecho, lo que puede ser hecho con el uso del método del *Highway Capacity Manual*, HCM (1994), para trechos con flujo continuo y con el método de Webster (Boletín Técnico BT N° 16, CET/SP, 1997) para trechos con flujo discontinuo.

### **3.3 Matriz Origen/Destino y Designación de Viajes**

Para la área de influencia definida en la etapa anterior, se debe construir la matriz de viajes entre pares de zonas con levantamiento de datos en campo o utilizando datos disponibles actualizados con técnica como la del factor de crecimiento (Novaes, A.G., 1986) o con modelos gravitacionales (Ortúzar, J.D., Willumsen, L.G., 1990).

Después de la determinación de esta matriz, designase el tráfico a los trechos de vías con alguno de los métodos que existen disponibles para esta finalidad, como por ejemplo método de designación incremental. Este permite simular el comportamiento de un conductor al escoger entre varios caminos según el tiempo de viaje de cada uno. Pueden también ser usados modelos de programación dinámica para obtención de los caminos mínimos entre pares de zonas, como modelo de Dijkstra (Harris, Roy D., 1974).

### **3.4 Determinación del Nivel Ambiental de la Red Viaria**

Para determinar el Nivel Ambiental de la red deben ser determinados, primero, los Niveles Ambientales de cada trecho que compone la misma.

Entiéndese en este trabajo, por Nivel Ambiental de un trecho de vía, NA:

$$NA = \min(NS, NR, NC)$$

donde

NS: nivel de servicio del trecho;

NR: nivel de ruido del trecho;

NCA: nivel de contaminación del aire en el trecho.

El nivel de servicio, NS, de cada trecho de vía es calculado utilizando el procedimiento divulgado en el HCM para vías de flujo continuo, y según el método de Webster (Boletín Técnico BT N° 16, CET/SP, 1997), para vías con semáforos.

Para la evaluación de la concentración de contaminantes atmosféricos pueden ser adoptados modelos disponibles en la literatura especializada, como aquellos desarrollados por: Mancuso y Ludwing (1972), U.S. Environmental Protection Agency (1978) *in* Menezes(2000), Braga (1980), Joyce, Willian y Johnson (1986), Motta (1990), Martins (1996) y otros.

Debe ser escogido el modelo para el cual las informaciones necesarias existan y que se aproxime mejor a las características deseadas.

Estos modelos usan, como *input*, entre otros parámetros, el número de vehículos que circula en el trecho considerado.

La resolución N° 03/90 del CONAMA estableció los límites máximos permitidos de exposición (Tabla 3.10, del Ítem 3.3.4) a distintos contaminantes. A partir de estos Límites (Tabla 1) la CETESB (Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental, São Paulo), definió niveles de contaminación del aire, NCA, siguiendo el estilo del nivel de servicio, NS. Estos niveles están presentados en el Tabla 2 a seguir:

contaminante	Tiempo de Exposición	Límite Máximo Aceptable (mg/m <sup>3</sup> )
Partículas Totales en Suspensión	24 horas	375
Dióxido de Enxofre	24 horas	800
Monóxido de Carbono	8 horas	16.667 (15 ppm)
Ozônio	1 hora	400
Partículas Inalables	24 horas	250
Dióxido de Nitrogenio	1 hora	1.130
Humo	1 hora	250

**Tabla 1 – Padrones de Calidad del Aire Limitantes de la Capacidad Ambiental**

NA	Concentración de los contaminantes (µg/m <sup>3</sup> )						
	Partículas totales en suspensión (PTS)	Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Monóxido de carbono (CO)	Ozono (O <sub>3</sub> )	Partículas inalables (PI)	Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Humo (hum)
	24h	24 h	8h (ppm)	1h	24 h	1h	24 h
A	PTS ≤ 80	SO <sub>2</sub> ≤ 80	CO ≤ 4,5	O <sub>3</sub> ≤ 80	PI ≤ 50	NO <sub>2</sub> ≤ 100	fum ≤ 65
B	80 < PTS ≤ 160	80 < SO <sub>2</sub> ≤ 222	4,5 < CO ≤ 6,7	80 < O <sub>3</sub> ≤ 120	50 < PI ≤ 100	100 < NO <sub>2</sub> ≤ 210	65 < fum ≤ 105
C	160 < PTS ≤ 240	222 < SO <sub>2</sub> ≤ 365	6,7 < CO ≤ 9,0	120 < O <sub>3</sub> ≤ 160	100 < PI ≤ 150	210 < NO <sub>2</sub> ≤ 320	105 < fum ≤ 150
D	240 < PTS ≤ 307	365 < SO <sub>2</sub> ≤ 582	9,0 < CO ≤ 12,0	160 < O <sub>3</sub> ≤ 280	150 < PI ≤ 200	320 < NO <sub>2</sub> ≤ 725	150 < fum ≤ 200
E	307 < PTS ≤ 375	582 < SO <sub>2</sub> ≤ 800	6,7 < CO ≤ 15,0	280 < O <sub>3</sub> ≤ 400	200 < PI ≤ 250	725 < NO <sub>2</sub> ≤ 1.130	200 < fum ≤ 250
F	PTS > 375	SO <sub>2</sub> > 800	CO > 15,0	O <sub>3</sub> > 400	PI > 250	NO <sub>2</sub> > 1.130	fum > 250

**Tabla 2 – Criterios para niveles ambientales de contaminación del aire**

Como se puede ver se quiere evaluar más de un contaminante, se define como nivel ambiental de contaminación atmosférica el correspondiente al contaminante crítico.

De forma semejante es evaluado el ruido para lo que se utilizan modelos como los de: U.S. *Environmental Protection Agency* (1978) *in* Lima (1999), Instituto de Pesquisa

Tecnológico de São Paulo (1979) *in* Lima (1999), U.S. Highway Reserch Board (1990), Louredo (1993), MacDowell (1997) *in* Lima (1999) y otros.

Los límites máximos para este contaminante fueran definidos en Decreto Ley N° 8469 del Municipio de São Paulo asociados al uso del suelo. Estos valores se encuentran en el Tabla 3 a seguir:

Uso del Suelo	Nivel de ruido máximo (dBA)
Residencias	55
Residencias y Comercio	63
Comercio	67

**Tabla 3 – Niveles máximos del ruido permitido para los diferentes usos del suelo.**

A partir de estos valores Menezes (2000) define los siguientes niveles de ruido:

Nivel Ambiental	Áreas Residenciales	Áreas Residenciales y Comerciales	Áreas Comerciales
A	$Leq \leq 16,5$	$Leq \leq 18,5$	$Leq \leq 20,1$
B	$16,5 < Leq \leq 27,5$	$18,5 < Leq \leq 31,5$	$20,1 < Leq \leq 33,5$
C	$27,5 < Leq \leq 38,5$	$31,5 < Leq \leq 44,1$	$33,5 < Leq \leq 46,9$
D	$38,5 < Leq \leq 46,8$	$44,1 < Leq \leq 53,6$	$46,9 < Leq \leq 57,7$
E	$46,8 < Leq \leq 55,0$	$53,6 < Leq \leq 63,0$	$57,7 < Leq \leq 67,0$
F	$Leq > 55,0$	$Leq > 63,0$	$Leq > 67,0$

**Tabla 4 – Criterios para los niveles ambientales de la contaminación sonora – Leq (dBA)**

El nivel ambiental del trecho resulta del nivel más desfavorable entre los calculados.

Para determinar el Nivel Ambiental de la red, las frecuencias de los niveles ambientales de los trechos de la misma son calculadas y la siguiente regla (por ser considerada adecuada a áreas urbanas) es propuesta:

- se la frecuencia del Nivel F < 5%, entonces el Nivel Ambiental de la red es definido como el Nivel Ambiental con mayor frecuencia (o sea, la moda). Se sucede algún empate de niveles de mayor frecuencia es adoptado como nivel ambiental de la red el peor de ellos
- se a frecuencia del Nivel F 5% y se este nivel no corresponde a la moda, el Nivel Ambiental de la red es el nivel E.
- Se la frecuencia del Nivel F 5% y F es la moda, se adopta el Nivel F como Nivel Ambiental de la red.

### 3.5 Instalación del Polo Generador de Tráfico

Caso el Nivel Ambiental de la red antes de la instalación del PGT sea viable, o sea, sea A, B, C o D puede ser considerada la posibilidad de instalación del Polo, para lo que se debe estimar o tráfico generado. Modelos desarrollados por varios autores como

Companhia de Engenharia de Tráfego de la ciudad de São Paulo (1983 e 1987), GOLDNER (COPPE, 1994) o MARTINS (COPPE, 1996) se encuentran disponibles en la literatura técnica y el más adecuado a la situación puede ser adoptado.

A seguir, ese tráfico debe ser distribuido en la matriz O/D utilizando, por ejemplo el concepto de Tasa de Motorización ( $p_i$ ), dado por:

$$i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

donde:

P = población total de la zona i

= número de automóviles registrados en la zona i.

N = número de zonas.

Una vez distribuido las viajes entre zonas deben ser designados en las vías como en la etapa 3.3

### **3.6 Nivel Ambiental de la Red después de la Instalación del Polo.**

Repetición de la etapa 3.4 con la nueva designación.

### **3.7 Tomada de Decisión**

Se el Nivel Ambiental de la etapa 3.6 es A, B, C o D, puede ser concedida la licencia para instalación del Polo. Caso contrario la licencia no debe ser concedida a no ser que modificaciones de proyecto sean propuestas y revaluadas.

## **4. DIAGRAMA DE FLUJO DETALLADO DEL PROCEDIMIENTO**

En la Figura 2 es representado el procedimiento propuesto con mayores detalles.

## **5. APLICATIVO COMPUTACIONAL**

Para aplicar el procedimiento de forma ágil y dinámica fue desarrollo en Delphi 5 un aplicativo computacional en el que fueran incluidos los modelos mencionados para cálculo de viajes generadas, distribución de viajes entre las zonas, designación de las viajes en las vías, cálculo de contaminación del aire y del ruido, así como cuadros que contienen los niveles de contaminación del aire y las reglas de composición de los mismos.

## **6. CONCLUSIONES**

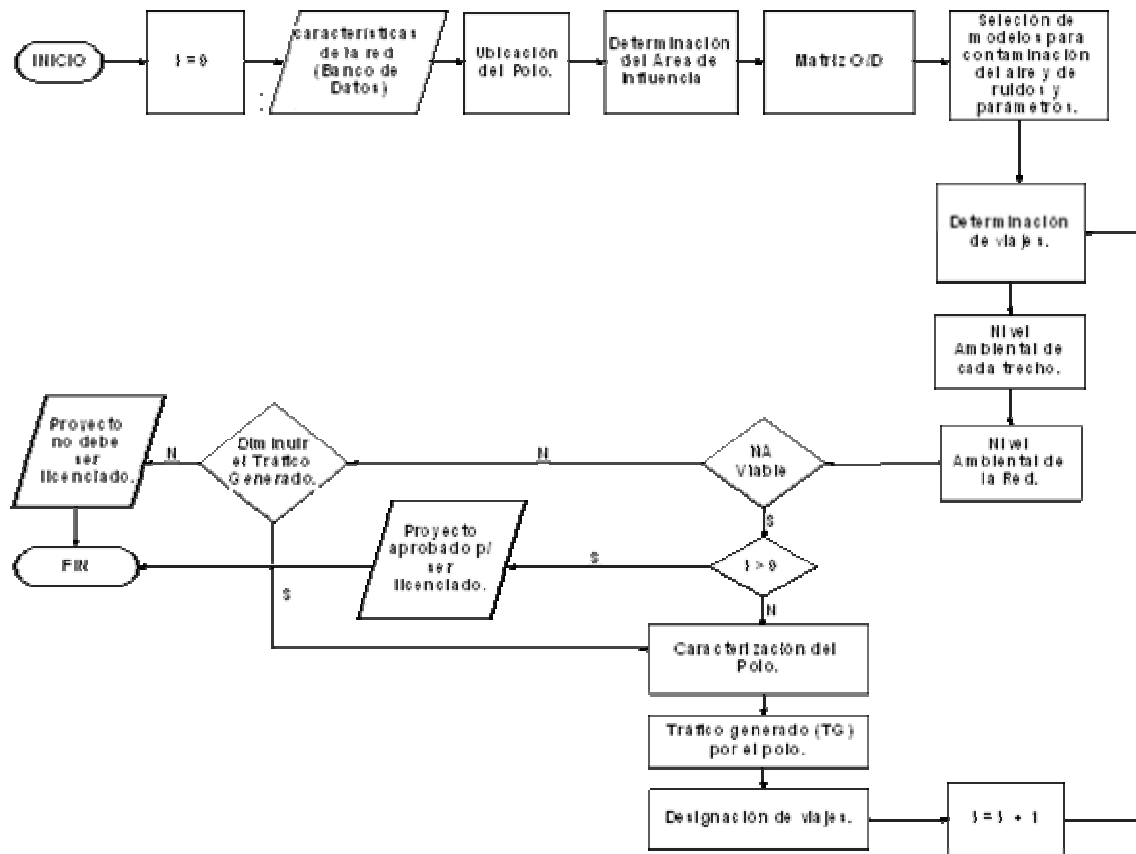
Este procedimiento da agilidad y confiabilidad al proceso de análisis de licenciamiento de instalación de PGT y ayuda en el planeamiento urbano armonizando el uso del suelo con la infraestructura vial.

Puede ser usado tanto por el órgano licenciador, tanto cuanto por el emprendedor.

Las reglas implementadas para obtención de los niveles de contaminación del aire, del ruido y ambiental tanto para los trechos cuanto para la red pueden ser modificados de acuerdo con el comportamiento del tráfico de la región y otros modelos que atiendan a las diferentes etapas pueden ser agregados.

Algunas aplicaciones en redes de pequeño tamaño fueran desarrolladas con respuestas coherentes con lo esperado.

**Figura: Diagrama de Flujo representativo del Procedimiento Propuesto.**



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente subsidiado por CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CET (1983) Pólos Geradores de Tráfego, Boletim Técnico 32, São Paulo, Brasil.

LIMA JR., P. C. R. (1999) Uso de Sistemas de Informação Geográficas para Avaliação de Impactos Ambientais de Sistemas de Transportes Urbanos. Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, Brasil.



**LOUREDO, M. R.** (1993) Planejamento de Transporte Urbano Considerando o Impacto da Poluição Sonora. Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, Brasil.

**MARTINS, J. A.** (1997) Transporte, Uso do Solo e Auto-Sustentabilidade. Tese de Doutorado, UFRJ, COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.

**MENEZES, F. S. S.** (2000) Determinação da Capacidade de Tráfego de uma Região a partir de seus Níveis de Poluição Ambiental. Tese de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, Brasil.

**MOTTA, J. P. L.** (1990) Avaliação Ambiental em Relação a Emissão veicular de Monóxido de Carbono em Ambientes Fechados - Túnel Rebouças . Tese de Doutorado COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

**NOVAES, A.G.,** (1986), Sistemas de Transportes – Vol. I, II e III. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil.

**ORTÚZAR, J. D. Y WILLUMSEN, L. G.** (1990), Modelling Transport, John Wiley & Sons, London, England,.

**TRANSPORTATION RESEARCH BOARD** (1994), Highway Capacity Manual. Washington, USA.

**WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO,** (2000), Guidelines for Air Quality and Noise, Geneva.