

Ruteador Inteligente y Dinámico Basado en Clasificación del Tráfico en Tres Niveles.

D. Gorni⁽¹⁾

⁽¹⁾ Alumno del Master en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Pontificia de Salamanca – Campus Madrid - UPSAM (dgorni@yahoo.com.br).

RESUMEN

Este proyecto presenta un Sistema de Información Geográfica Web (SIGWeb), desarrollado utilizando programario SIG Open Source: el servidor de mapas MapServer (Universidad de Minnesota - EEUU) y el banco de datos relacional orientado a objetos PostgreSQL/PostGIS. Es un 'ruteador' para trabajar sobre una parte de las calles de la ciudad de Sao Paulo – Brasil. El SIGWeb construye las rutas basándose en un algoritmo de 'mejor camino' entre dos puntos con el fin de localizar y utilizar las calles con mejores condiciones de tráfico (menos atascadas). Además, el programa re-calcula el tiempo empleado en recorrer la ruta en tiempo real utilizando las informaciones en tiempo real del tráfico y de la posición del usuario.

Palabras clave: *sistema de información geográfica, software libre, sistema de rutas, ruteamiento, MapServer UMN, PostgreSQL, PostGIS, banco de datos espacial, servidor de mapas.*

ABSTRACT

This project describes a Web Geographic Information System (WebGIS) built on an Open Source geographic structure like MapServer (Minnesota University) and PostgreSQL/PostGIS (object relational database management system). The WebGIS is a web site to route ways in streets net of a part of Sao Paulo city (Brazil). The system traces the route based in a best way algorithm looking for better streets traffic conditions.

Key words: *geographic information system, open source software, route system, spatial database, PostgreSQL, PostGIS, MapServer UMN, map server, avl.*

INTRODUCCIÓN

Definiciones

- Sistema de Información Cliente-Servidor*: basado en un modelo computacional donde el *Cliente* realiza peticiones de información, servicios, etc y el *Servidor* “contesta” al cliente lo que este desea. Generalmente el servidor accede a un banco de datos manipulando las informaciones contenidas en el mismo.
- Sistema de Información Web*: es un sistema que sigue el modelo Cliente-Servidor donde cliente y servidor se conectan utilizando la red mundial de ordenadores. Estos pueden estar lejos uno del otro, conectados a través de Internet. Generalmente, el cliente es un *Browser* y el servidor un *WebServer*.



Figura 1: Estructura Sistema de Información Web (adaptada de ITC-Holanda)

- Sistema de Información Geográfica (SIG)*: un SIG es, en pocas palabras, un sistema de información que manipula datos geográficos (o datos espaciales). Raia Junior (2000) cita un SIG como siendo la *terminología mucho aplicada a la tecnología computacional orientada geográficamente*. Otras definiciones encontradas: (1) *Sistemas automatizados usados para almacenar, analizar y manipular datos geográficos* (Câmara et al., 1996); (2) *Sistema basado en computador, que permite al usuario coleccionar, manipular y analizar datos georeferenciados* (Teixeira & Christofolletti, 1997); (3) *Conjunto de herramientas informáticas diseñadas para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de datos espaciales* (Ordóñez y Martínez, 2003).
- Sistema de Información Geográfica Web (SIGWeb)*: un SIGWeb debe entenderse como un SIG accesible a través de Internet. Un SIGWeb es un Sistema de Información (SI) y como tal, generalmente está compuesto por algunos de los componentes básicos de un SI común, como por ejemplo: lenguaje de desarrollo y un banco de datos (BBDD). Pero la BBDD de un SIG debe ser capaz de manipular informaciones espaciales. Además, un mapa casi siempre está presente en los SIGWeb. Un buen SIGWeb debe tener la capacidad de generar los mapas dinámicamente conforme a las peticiones de los usuarios. Para ello, se hace necesario un servidor de mapas. Así, los componentes generalmente encontrados en un SIGWeb son:
 - Un Cliente – generalmente un browser de Internet;
 - Un Servidor Web. Ejemplos: Apache, JBoss, IIS, otros;
 - Una Lenguaje de Desarrollo que pueda ser interpretada por el WebServer (Java, ASP, PHP, otras);
 - Un Banco o Base de Datos Espacial;
 - Un Servidor de Mapas – para generar los mapas dinámicamente.

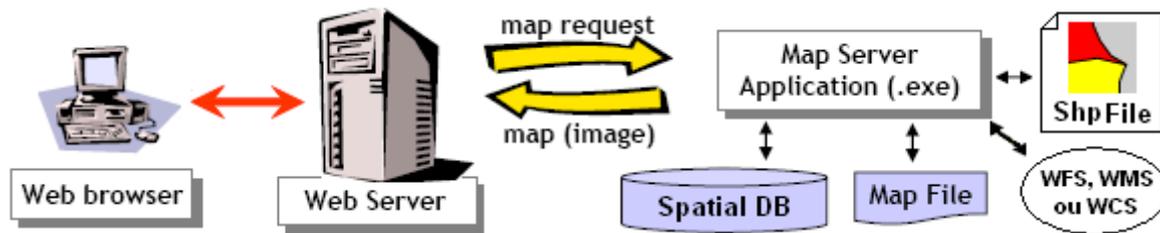


Figura 2: Estructura Sistema de Información Geográfica Web (adaptada de ITC-Holanda)

Tecnología Open Source

Con el avance de la red mundial de ordenadores – Internet – principalmente en cuanto a velocidad de navegación y acceso, hemos asistido al crecimiento de los *websites* y de los servicios ofrecidos a través de la web. Por detrás de todo esto, hemos asistido también a la explosión de tecnología, de modo que hoy hay una gran cantidad de opciones de tecnología web (*Open Source* o no). Además, *software* y *hardware* son cada día más potentes y accesibles.

Ha ocurrido también un avance en las tecnologías geo-espaciales, como por ejemplo: satélites y sensores, *softwares* de tratamiento de imágenes, bancos de datos espaciales, servidores de datos, *web services* (WMS, WFS, WCS), etc.

Efectivamente, hay grandes empresas que tienen como sus objetivos las geo-tecnologías (*ESRI*, *Intergraph*, *ERDAS*, ...). Pero también hay las tecnologías *Open Source* que suelen tener alta calidad y desempeño (y no se necesita pagar por ellas).

Las tecnologías *Open Source* utilizadas en este proyecto para desarrollar un SIGWeb han sido:

- **Banco de Datos Espacial PostgreSQL/PostGIS:** PostgreSQL es un Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacionales orientadas a Objetos (ORDBMS). PostGIS es una extensión que permite este ORDBMS manipular también datos espaciales. PostGIS añade al PostgreSQL una gran cantidad de funciones que operan directamente sobre los datos espaciales (ej: función de cálculo de distancias entre objetos).
- **Un servidor de mapas – MapServer (UMN - EEUU):** es un servidor de mapas que puede ser instalado sobre Linux/Unix, MacOSX o MS-Windows. MapServer tiene la capacidad de poderse conectar a diferentes estructuras de datos como por ejemplo: PostgreSQL/PostGIS, ORACLE, ArcSDE (ESRI), Shapefiles, Erdas, ECW, GeoTIFF, WMS, WFS, etc. MapServer puede generar salidas de mapa en los siguientes formatos: GIF, PNG, JPEG, TIFF, BMP e SVG. Y también puede ser el servidor de datos utilizando WMS.

El sistema operativo, servidor web y lenguaje de desarrollo utilizados en este proyecto fueron de Microsoft. Pero MapServer y PostgreSQL/PostGIS son fácilmente utilizados en estructuras Linux/Unix, Apache, PHP, JAVA, etc. Este mismo proyecto se encuentra en fase de migración al SO Linux, Apache y Java (J2EE).

VISION GENERAL DEL RUTEADOR INTELIGENTE

Objetivo

El objetivo de este proyecto es un sistema de información geográfica con dos funcionalidades principales:

- Guiar las personas entre dos puntos dentro de una red de calles. Es decir, construir una ruta entre dos puntos y informar de los "pasos" necesarios para que la persona vaya de un punto hasta el otro.
- Esta ruta citada arriba será construida considerando las condiciones del tráfico. Es decir, el sistema diseñará rutas entre dos puntos (direcciones de la ciudad) utilizando los mejores caminos basados en las condiciones del tráfico (si hay atascos en una región, el *ruteador* seleccionará otras opciones). Estas condiciones de tráfico serán clasificadas por un sistema apto a eso y utilizado por personas responsables por esa tarea (como por ejemplo el dicho "Tráfico", en Madrid o "CET", en Sao Paulo).

En otras palabras, el sistema provee al usuario una ruta entre dos puntos (direcciones simples - nombre y número de una dirección cualquier), donde el *algoritmo de mejor camino* utilizado, analiza las condiciones del tráfico y no utiliza (siempre y cuando sea posible) las calles con mayor intensidad de circulación y atascos.

Además, el sistema rediseña la ruta en tiempo real utilizando las informaciones actualizadas del tráfico y de la posición del usuario.

Efectivamente, el sistema se compone de cuatro elementos principales:

- Algoritmo Mejor Camino – *kernel* del sistema – construye las rutas entre dos puntos buscando los caminos menos atascados;
- Inicio de la Ruta (Origen) – variable – después que el usuario inicia su movimiento, esta componente debe ser actualiza en el *ruteador*;
- Fin de la Ruta (Destino) – constante – no varia;
- Informaciones del Tráfico (Modulo apartado) – variable – de la misma manera que el *ruteador* debe detectar la posición actual (Origen) del usuario en tiempo real, este deberá acceder a la información actual del tráfico.

Área de Aplicación

El sitio donde vamos aplicar el sistema es una área de aproximadamente 70 (setenta) kilómetros cuadrados (8,3 Km. x 8,3 Km.) de la ciudad de Sao Paulo - Brasil. Este cuadrante se forma por las coordenadas geográficas: longitud: de -46° 41' 00" hasta -46° 36' 00", y latitud: de -23° 37' 00" hasta -23° 32' 00".

ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA

Elementos del cálculo de ruta óptima

Básicamente, son tres los elementos utilizados en el cálculo de la ruta óptima:

- Punto de Origen: variable - la posición del cliente estará actualizándose siempre.
- Punto de Destino: constante - la posición final de la ruta no se altera.
- Situación del tráfico: variable - el Módulo *Gerencia de Tráfico* se modificará en función de la situación.

Dinamismo

Mientras el cliente no llega hasta su Destino, el *ruteador* (en intervalos de tiempo programados, p.e. cada 10 segundos) estará rediseñando la ruta. Esto tiene lugar ya que, dos de los tres componentes del cálculo de la ruta (citados arriba), son variables: la posición de origen y la situación del tráfico. Es decir, como el cliente se mueve y las condiciones del tráfico están se modificando constantemente, la ruta debe ser actualizada en tiempo real. Del mismo modo, el cliente puede desviarse de la ruta originalmente propuesta –intencionalmente o no– y esto implica el rediseño de la ruta.

Módulos

El sistema se divide en dos módulos:

- *Módulo de Gerencia del Tráfico*: utilizado para clasificar la situación del tráfico (atascos) en tres niveles: *buena*, *mediana* y *mala*. Un equipo de personas observan y evalúan las condiciones del tráfico, actualizando el sistema periódicamente. La persona responsable debe elegir en el sistema, la dirección compuesta por nombre de la vía, número inicial, número final y el nivel de atasco en esta región.
- *Módulo Cliente*: utilizado por las personas que desean obtener la ruta entre dos puntos. Básicamente, eligen un Origen y un Destino y solicitan la ruta. Veremos, más adelante, que hay variaciones de utilización de este módulo porque hay la posibilidad de que el cliente tenga un GPS.

Tipos de Usuarios del Modulo Cliente

Para el Modulo Gerencia no hay tipos diferentes de usuarios. Pero para el Modulo Cliente, hay dos tipos de usuarios: uno que tiene un GPS y uno que no tiene:

- El cliente que tiene un GPS y quiere que el origen de su ruta sea donde está su GPS, solamente necesita informar de la dirección del destino (nombre de la calle y número) para obtener la ruta. Esto es así porque cuando este tipo de cliente efectúa su “*login*” en el sistema, éste reconoce automáticamente el GPS asociado al cliente (siempre que el cliente haya registrado su GPS correctamente). En este caso, el origen de la ruta estará siendo actualizado automáticamente pues el sistema recibe las nuevas posiciones (“nuevos orígenes” de la ruta) del GPS en tiempo real. Puede ser que este mismo tipo de cliente, no quiera que el origen de la ruta sea la posición de su GPS. En este caso, él puede seleccionar el modo “*no utilizar mi GPS*” e informar sobre las dos direcciones necesarias para el cálculo de la ruta: un origen y un destino. Pero en este caso, el origen de la ruta no será automáticamente actualizado porque el sistema considera que este cliente no tiene un GPS. Para actualizar las posiciones del cliente conforme su movimiento, en este modo, el usuario tendrá que proceder de la misma manera que el usuario que no tiene un GPS (será descrito más adelante).

- El cliente que no tiene un GPS, está obligado a informar de las dos direcciones (origen y destino) para obtener la ruta.

Procedimiento para elegir las direcciones

Para ambos tipos de usuario: del Modulo Cliente y también del Modulo Gerencia, la manera como se elige una dirección es (casi) la misma:

- El sistema muestra las letras del alfabeto (A - Z);
- El usuario pincha sobre la letra con la cual comienza el nombre de la dirección deseada;
- Una lista (basada en la letra elegida) con todas las calles se muestra y el usuario tiene que seleccionar una de ellas. Después de seleccionar el nombre de la calle, se muestra el rango de números posibles. Esto ayuda al usuario a conocer el rango de números que constan en el banco de datos del sistema para cada calle;
- El usuario del Modulo Cliente informa sobre el número deseado y el usuario del Modulo de Gerencia informa dos números – el número donde empieza la condición del tráfico, y el número donde termina la condición.

Cabe recordar que, si la ruta no trabajara con un GPS asociado, el cliente tendría que proceder como ya se ha descrito en este ítem dos veces: una vez para informar sobre el Origen, y otro para informar sobre el Destino.

Movimiento del Cliente – como se actualiza su localización

Utilizando un GPS

El cliente que tiene un GPS debidamente registrado en el sistema, no necesita preocuparse con la actualización de su posición. El sistema GPS y el Sistema de *Ruteamento* intercambiarán informaciones para que la localización del cliente esté siempre actualizada, y así, la ruta, pueda ser diseñada.

Atentar para el hecho de que la capa *Equipamiento GPS / Transmisión Localización* no es foco de este proyecto. Admitimos que las posiciones del Cliente (que pueden ser coordenadas geográficas latitud y longitud) estarán en un banco de datos donde el Sistema de *Ruteamento* pueda acceder o serán recuperadas por requisición *http*, o de otra manera (hay varias maneras para obtener la información).

Sin utilizar un GPS

En el Modulo Cliente es posible actualizar la localización de dos maneras diferentes:

- Informar el nombre de la calle y el número de la posición donde se encuentra;
- Pinchar en el mapa con el ratón.

BASE DE DATOS

Trabajamos con un total de 3.023 calles, 18.787 segmentos (los arcos que conforman las diferentes calles) y 14.704 puntos (que forman los segmentos de recta).

Cabe recordar que en este sistema de cálculo de rutas, no se están considerando los permisos de conversión de calles, pues los datos obtenidos no contuvieron esta información.

Preparación de los datos

Los datos utilizados para este sistema fueron proporcionados en un archivo en formato *shapefile* (archivos de datos geográficos). Éste contenía toda la base cartográfica de las calles de la ciudad de Sao Paulo. Pero utilizamos solamente 80 kilómetros cuadrados de esta información. Así, utilizando una herramienta de generación de *scripts* de banco de datos, transformamos la información para un archivo de *script* y lo utilizamos para crear la tabla y “cargar” los datos en la misma. Esta acción originó solamente una tabla, con 134.797 líneas y 21 columnas. Después de esto, una serie de operaciones fueron llevadas a cabo hasta que los datos estuvieron listos para ser manipulados por el sistema. El algoritmo de mejor camino entre los dos puntos (también desarrollado en este proyecto) necesita una estructura específica de datos, así como la topología *arco-nodo* de los mismos. Algunas de estas operaciones, podían ser hechas en tiempo de ejecución, pero pensando en un mejor rendimiento del sistema, se ha trabajado con los datos y se han almacenado los resultados en la BBDD. Al final, el sistema tiene 8 tablas en el modelo de datos relacional.

Diagrama Entidad Reracionamiento de la Base de Datos

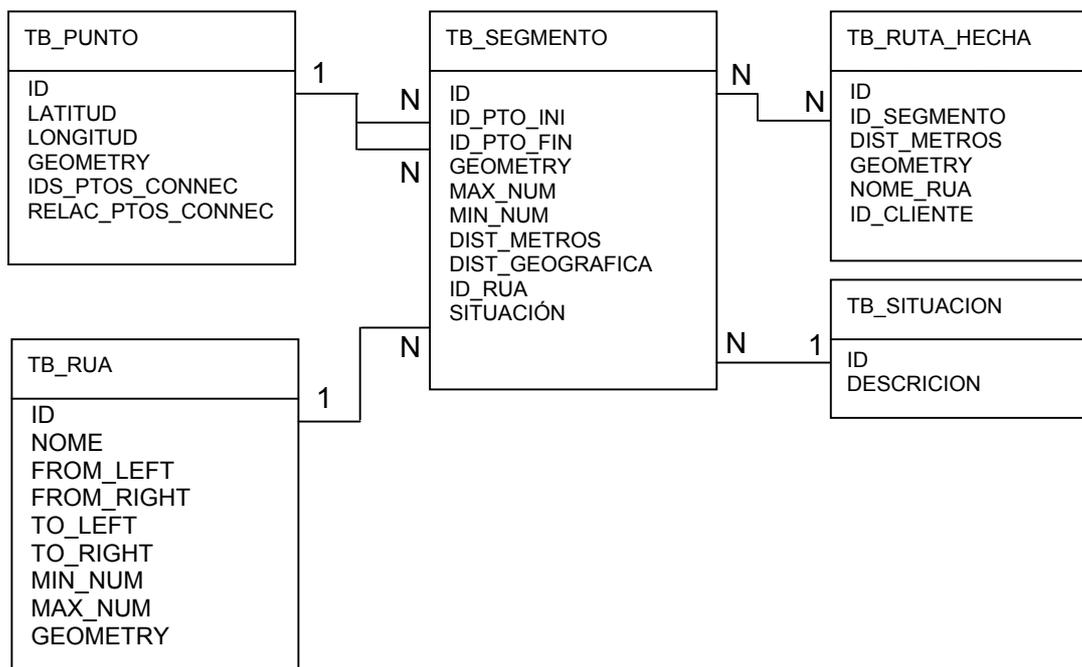


Figura 3: DER Base de Datos – parte 1

Las tablas presentadas en la Figura 3 son las tablas base para el algoritmo de mejor camino. El resultado final se quedará en la tabla TB_RUTA_HECHA. Como la ruta no es más que una secuencia de puntos o de segmentos (registros de la tabla TB_SEGMENTOS), la tabla TB_RUTA_HECHA podría contener solamente un campo: ID_SEGMENTO. Pero la tabla de segmentos es mucho extensa y todavía no contiene otras informaciones (como el nombre de la calle). Así, preferimos coger todos los datos necesarios para la creación del mapa (una imagen hecha por el servidor de mapas) y hacerlos disponibles en una única tabla pequeña y dinámica (dinámica porque está siempre siendo actualizada, respetando los usuarios que la estén utilizando en ese mismo momento – por ello hay el campo ID_CLIENTE).

Las siguientes tablas son, dos del catastro de usuarios y una tabla especial que el banco de datos crea y mantiene automáticamente para controlar las columnas tipo geometría del banco de datos.

TB USER CLIENTE	TB USER GERENCIA	GEOMETRY_FIELD
ID NOMBRE GPS_CODE DIRECCIÓN CIUDAD DNI_NIE_PASAPORTE LOGIN CONTRA_SENA	ID LOGIN CONTRA_SENA DEPARTAMENTO JEFIA	ID TABLA_NAME COLUM_NAME SRID TYPE

Figura 4: DER Base de Datos – parte 2

La tabla GEOMETRY_FIELD contiene dos campos que merecen especial atención. El primero es el SRID. En este campo se almacena un código que contiene la proyección de los datos. El segundo campo es el TYPE. Los valores posibles para este campo son, básicamente: *Point*, *Line* y *Polygon*. Es decir, es el campo responsable de almacenar la información relativa a cual es el tipo de dato espacial de cada línea de la tabla.

4.3- Topología de los datos

Cuando pensamos en *mejor camino* entre dos puntos utilizando una red lineal formada por puntos y líneas (como el concepto de los *grafos* de la computación), pensamos en conectividad. Y cuando pensamos en conectividad en un sistema de información geográfica vectorial, pensamos en topología Arco-Nodo, que es básicamente: cuando dos arcos comparten uno mismo nodo, están conectados. Basado en este principio, el algoritmo de mejor camino trabajará para construir la ruta.

ALGORITMO MEJOR CAMINO

La idea central del algoritmo desarrollado en este proyecto está en el estudio de la relación entre dos puntos. Esta relación se obtiene por trigonometría básica - ángulos.

El primer paso es calcular la relación del Origen con el Destino, y verificar en las conexiones del punto de origen cual de los puntos que están conectados con él, tiene una relación más aproximada (o exacta) a la relación deseada.

El resultado final del algoritmo será una secuencia de puntos o arcos.

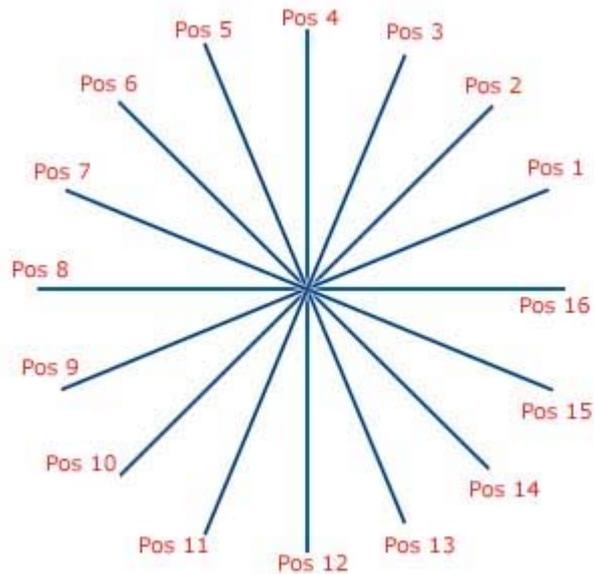


Figura 5: Las 16 posibles relaciones entre 2 puntos

La estructura de la base de datos fue construida en función de cómo trabaja el algoritmo de mejor camino. En pocas palabras, el algoritmo se basa en dos campos de la tabla TB_PUNTO: IDS_PTOS_CONNEC y RELAC_PTOS_CONNEC. El campo IDS_PTOS_CONNEC contiene todos los puntos que están conectados al punto del respectivo registro de la tabla. Y RELAC_PTOS_CONNEC contiene la *relación* de cada uno de los puntos, respectivamente. Es decir, si hay 3 puntos en el primer campo, habrá 3 relaciones en el segundo campo. Esta *relación* es un valor que está en el rango 1 a 16. Son 16 posibles direcciones a partir de un centro (un de los dos puntos) hasta donde está el otro punto.

DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS PRINCIPALES

Pantalla del Modulo Gerencia del Tráfico



Figura 6: Pantalla de clasificación de condición del Tráfico

En esta pantalla el usuario que gerencia el tráfico elige el nombre de la calle, número inicial y número final donde tiene que clasificar la situación del tráfico (Buena, Mediana o Mala). Después pincha en el botón “Actualizar”. Él puede también ver el mapa con la red de calles clasificadas de acuerdo con los tres niveles de situación del tráfico pinchando en el botón correspondiente.

Pantallas del Modulo Cliente

Para el cliente que tiene registrado en el sistema un GPS, la pantalla exhibida es similar como la presentada en la Figura 6 – hay solamente una dirección a ser informada (Destino). Y hay una opción arriba a la derecha de la pantalla para elegir si él quiere o no utilizar su GPS en la ruta. Si el cliente no quiere utilizarlo, cambia la selección del “*combobox*” y entonces tendrá que elegir dos direcciones (Origen y Destino).

Si el cliente que accede al sistema no tiene un GPS registrado, la opción de elegir si quiere o no utilizar su GPS no es exhibida en la pantalla. Eso es posible porque cuando el cliente accede al sistema, este ya sabe si el usuario tiene o no un GPS registrado.

En la pantalla utilizada por el cliente que no tiene GPS registrado o en la pantalla utilizada por el cliente que tiene un GPS registrado pero no quiere utilizarlo, las informaciones de Origen y Destino son obligatorias.

Después que el cliente ha definido la(s) dirección(es), pincha en el botón “Construir Ruta” para obtener la ruta.

En la Figura 7 se presenta un ejemplo de secuencia *paso-a-paso* a ser hecha por el usuario informando sobre las distancias que él mismo necesitará recorrer en cada calle. Hay también informaciones de las distancias según cada condición de tráfico:

ROTINO - Módulo Cliente

Relatório da Rota Planejada

A-) Distância Total do Persurso: 8.345 m
B-) A Percorrer em Situação Boa: 7.895 m
C-) A Percorrer em Situação Mediana: 279 m
D-) A Percorrer em Situação Ruim: 171 m

Rota passo-a-passo

- 1-) Percorra 65 metros pela R HELVETIA.
- 2-) Percorra 216 metros pela AL BARAO DE PIRACICABA.
- 3-) Percorra 113 metros pela AV DUQUE DE CAXIAS.
- 4-) Percorra 744 metros pela AV RIO BRANCO.
- 5-) Percorra 109 metros pela LARGO DO PAISSANDU.
- 6-) Percorra 181 metros pela R ABELARDO PINTO.
- 7-) Percorra 40 metros pela LARGO DO PAISSANDU.
- 8-) Percorra 182 metros pela AV SAO JOAO.
- 9-) Percorra 459 metros pela R FORMOSA.
- 10-) Percorra 72 metros pela R QUIRINO DE ANDRADE.
- 11-) Percorra 150 metros pela R JOAO ADOLFO.
- 12-) Percorra 226 metros pela PC DA BANDEIRA.
- 13-) Percorra 159 metros pela TV NOSCHESE.

Figura 7: Pantalla del Cliente con la secuencia paso-a-paso de la ruta

Pantalla del Plano

La Figura 8, pero sin la ruta calculada y con pequeñas diferencias, es un ejemplo de una visualización del Modulo Gerencia del Tráfico. La red de calles está formada por tres diferentes colores: rojo, amarillo y verde. Esto es porque cada color representa una condición diferente de tráfico.

Esta pantalla, donde se puede ver el mapa con la ruta hecha, es la visualizada por el Cliente. Cabe destacar que hay una opción abajo a la izquierda, donde se puede elegir y pinchar en el mapa redefiniendo el Origen.

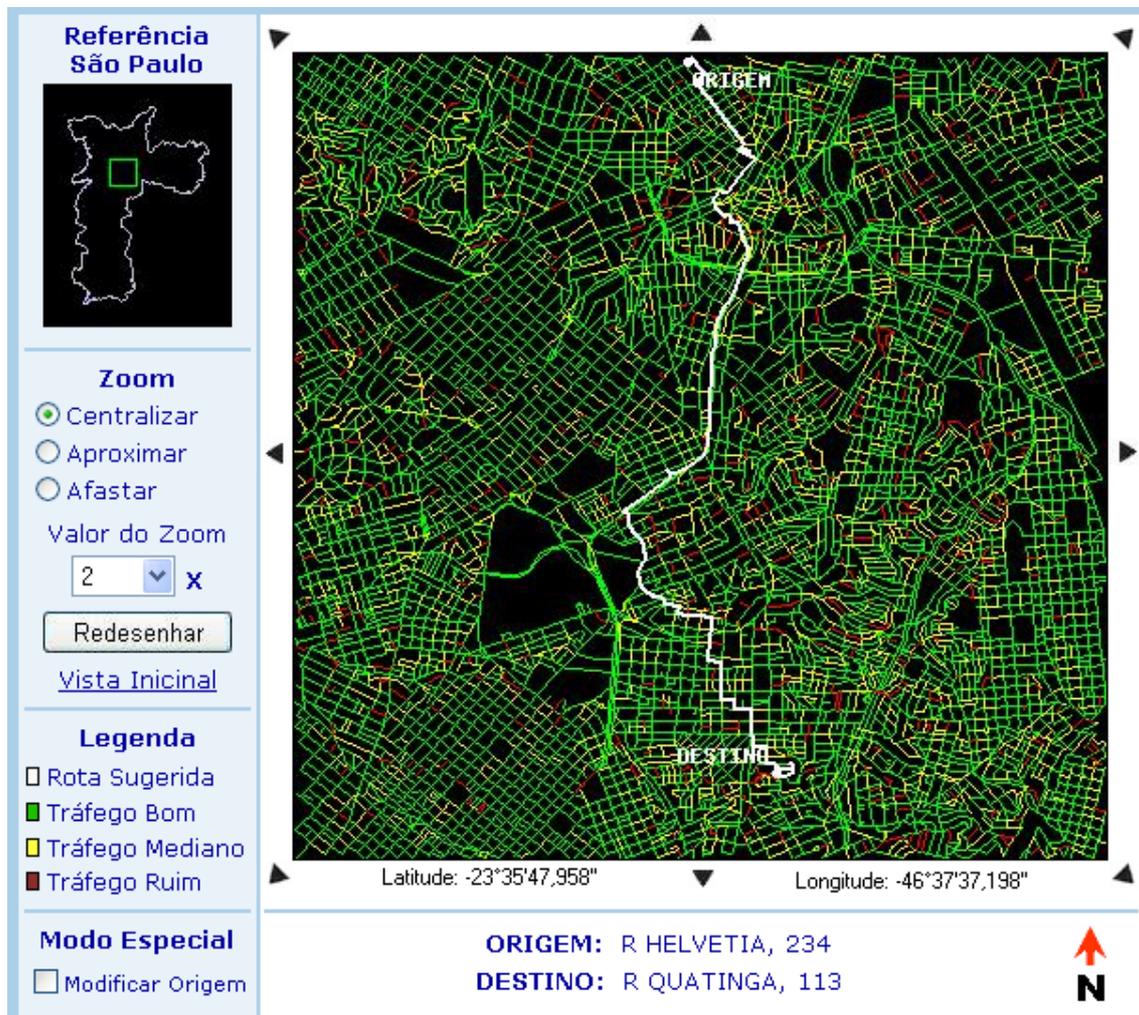


Figura 8: Pantalla de clasificación de condición del Tráfico

Además, hay en esta pantalla los componentes esenciales de cualquier mapa de un SIGWeb:

- Valores de las coordenadas geográficas al mover el ratón sobre el mapa;
- Mapa de referencia con relación al límite del ayuntamiento;
- Herramienta de *zoom in / zoom out*;
- Ocho links para realizar el llamado *pan* – desplazamiento del mapa.

CONCLUSIONES

En este análisis del caso, proponemos un Sistema de Información Geográfica de *roteamento* inteligente y dinámico. Un uso como este, pero sin el análisis dinámico de las condiciones del tráfico, se utiliza mucho para la navegación de los vehículos en

países más desarrollados como Reino Unido y Europa. La diferencia aquí está en el factor de analizar las condiciones del tráfico en tiempo real. Además, la utilización de *softwares* libres está cada vez más presente en nuestro día a día, teniendo en vista su calidad, desempeño y posibilidad de aplicación para fines comerciales.

AGRADECIMENTOS

- SENAC – Centro de Geo-tecnología y Estudios Ambientales - Sao Paulo – Brasil.
- POLI – USP – Departamento de Geo-procesamiento - Sao Paulo – Brasil.
- Centro de Geotecnologia da Universidad de Siena – Italia.
- Department of GeoInformation Processing – ITC - Holanda
- UPSAM – Universidad Pontificia de Salamanca en Madrid - España

REFERENCIAS

- ◆ CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHAES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. (1996), *Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas*. Campinas, Unicamp.
- ◆ TEIXEIRA, A.L.A.; CHRISTOFOLETTI, A. (1997), *Sistemas de Informação Geográfica: dicionário ilustrado*. São Paulo, Hucitec.
- ◆ ORDÓÑEZ; MARTÍNEZ, A. (2003), *Sistemas de Información Geográfica - Aplicaciones prácticas con IDRISI32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales*. Editorial Ra-Ma.
- ◆ RAIJA JUNIOR, A. A. (2000) *Acessibilidade e Mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- ◆ KÖBBEN, B.; LEMMENS, R. (2006) *Curso: Open Source Web GIS* – realizado en el Centro de Geotecnologia da Universidad de Siena – Itália. Ministrado pelo instituto holandés ITC (<http://www.itc.nl>) - Department of GeoInformation Processing.
- ◆ MARCOS ROGRIGUES (2005/2006), *Notas de aula de la asignatura SIG Avanzado* - POLI – USP - LabGeo – Sao Paulo, Brasil.