



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## PROCESSAMENTO E VISUALIZAÇÃO DE ESPAÇOS FUNCIONAIS NA WEB

Marcio Azeredo

Relatório da Disciplina de Aplicações Baseadas em Hiperdocumentos

INPE  
São José dos Campos  
2009

## **1 INTRODUÇÃO**

Normalmente, a noção de proximidade entre duas localizações geográficas é dada em função da distância física que as separa sobre a superfície terrestre. No entanto, o conceito de proximidade pode assumir um caráter mais abrangente em função da variável utilizada para sua representação, fornecendo diferentes visões do espaço. Tais representações são conhecidas como Espaços Funcionais e expandem o conceito trivial de proximidade. No caso da variável utilizada ser o tempo de acesso entre duas localizações geográficas, o espaço é chamado de espaço-tempo e as localizações são visualmente mais próximas, quanto menor for o tempo de deslocamento entre elas. Assim, uma rede de transporte valorada pelo tempo de acesso entre seus nós pode ser utilizada para representar o espaço geográfico em função das transformações que ocasionaria no mesmo.

O objetivo do presente trabalho é utilizar o método de regressão bidimensional para visualizar um espaço-tempo em um ambiente web, usando tecnologias atualmente disponíveis para esse fim.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Escalonamento Multidimensional (MDS)**

Normalmente O escalonamento multidimensional (MDS) é um método que permite a recuperação da representação bidimensional embutida em uma matriz de dissimilaridades (Friedman & Kohler, 2003). Logo, uma vez definidas as localizações geográficas e a velocidade de acesso entre os nós de uma rede de transportes, por exemplo, é possível construir uma matriz com base no tempo de acesso entre os pontos de coordenadas  $u$  e  $v$  pertencentes ao espaço geográfico  $W$ . O método encontra a melhor configuração espacial com base na variável, criando um sistema de coordenadas próprio. Basicamente, o MDS empregado pode ser métrico, que considera a proximidade calculada em função da variável, ou o não métrico, que considera o grau de proximidade em forma de ranqueamento. Neste estudo foi utilizado o escalonamento

multidimensional clássico (CMDs) que é métrico e considera uma única matriz simétrica de dissimilaridade.

## 2.2. Regressão Bidimensional

A regressão bidimensional foi desenvolvida por W. Tobler na década de 70 tendo com base o trabalho “On Growth and Form” de D`Arcy Thompson. O método foi criado com o objetivo de avaliar o grau de semelhança entre duas, ou mais, representações planas de um mesmo conjunto de pontos, conhecidas suas coordenadas em cada representação (Friedman & Kohler, 2003). O método foi concebido para resolver o problema de comparação entre mapas de uma mesma região, construídos em épocas diferentes. A regressão bidimensional é uma extensão da regressão unidimensional para o caso onde as variáveis em questão possuem duas dimensões de representação. Isso ocorre porque as variáveis envolvidas no processo não são as coordenadas dos pontos pertencentes às configurações planares, e sim os próprios planos de representação. Seja um espaço de referência  $Z$  definido pelas coordenadas  $x$  e  $y$ , e um espaço imagem  $W$  definido pelas coordenadas  $u$  e  $v$  (equações [1] e [2]).

$$Z((x_1, y_1), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)) \quad [1]$$

$$W((u_1, v_1), (u_1, v_1), (x_2, y_2), \dots, (u_n, v_n)) \quad [2]$$

O objetivo do método é relacionar a variável  $W$  com a variável  $Z$  (figura 1).

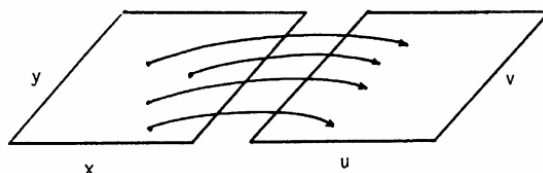


Figura 1. Transformação  $Z \rightarrow W$

fonte: Tobler, 1977.

Para tal, é utilizada uma função do tipo  $W' = f(Z)$ , de forma a permitir que o mapeamento  $Z \rightarrow W'$  seja o mais próximo de  $Z \rightarrow W$  (Tobler, 1977).

Segundo Cauvin, o método da Regressão Bidimensional pode ser dividido em duas fases principais: um ajustamento das observações de  $W$  para  $Z$  ( $W'$ ) e uma posterior interpolação de forma a generalizar os resultados para todo o espaço ( $W''$ ). Um resumo das etapas principais da regressão pode ser observado na figura 2.

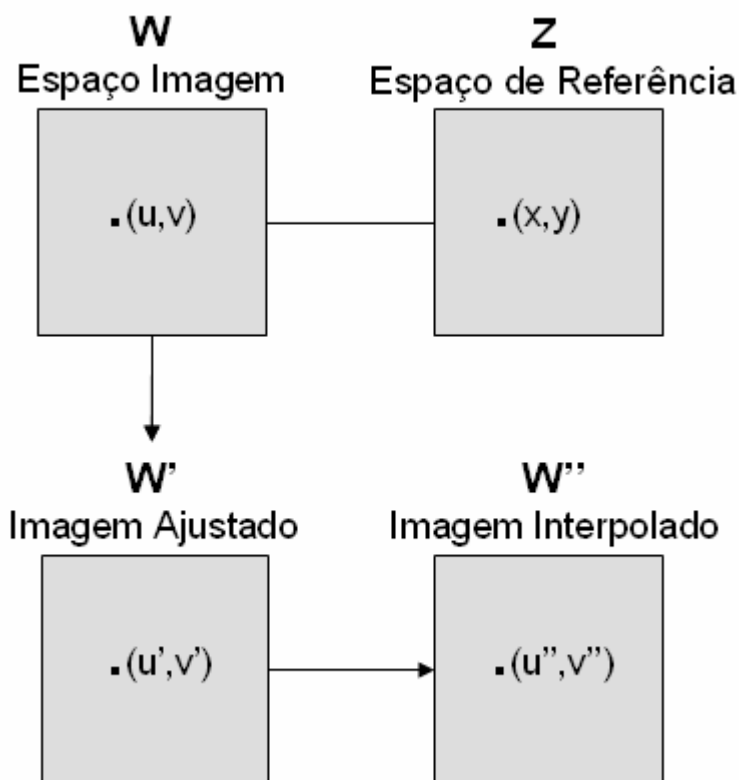


Figura 2. Etapas principais da regressão bidimensional.

fonte: Adaptado de Cauvin, 2002.

O método permite mostrar as diferenças entre configurações espaciais homólogas, exprimindo as distorções entre o espaço estudado ( $W$ ) e um espaço de referência ( $Z$ ), baseando-se para tal, na comparação de formas (Dias et. al.).

### 2.3. Ajustamento

Durante a transformação entre os sistemas Z e W, as transformações geométricas sofridas pelas configurações de pontos podem ser modeladas utilizando-se parâmetros de rotação, translação, cisalhamento e escala. Os parâmetros podem ocorrer simultaneamente ou de forma independente. As transformações normalmente utilizadas são: a transformação de similaridade, onde são considerados quatro parâmetros (dois de translação, um de rotação e um de escala) e a transformação afim geral, onde são considerados seis parâmetros (dois de translação, dois de escala, um de rotação e um de cisalhamento). Após algum cálculo algébrico, os parâmetros da transformação de similaridade são reduzidos às constantes  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$  e  $\beta_2$ . (equação [3]). Da mesma forma os parâmetros da transformação afim geral em  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$ . (equação [4]).

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \beta_1 & -\beta_2 \\ \beta_2 & \beta_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad [3]$$

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \beta_1 & -\beta_2 \\ \beta_3 & \beta_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad [4]$$

A substituição dos pontos x e y nas equações [3] e [4] permite a montagem de um sistema de equações lineares. A solução do sistema fornece os valores dos parâmetros de transformação. Determinados os parâmetros, o conjunto de dados é ajustado pelo método dos mínimos quadrados de forma a minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, ou seja, a diferença entre as coordenadas Z(x,y) e W'(u',v'). Neste trabalho utilizou-se a transformação mais abrangente, ou seja, a transformação afim geral.

### 2.4. Interpolação

O objetivo da interpolação é extrapolar os resultados obtidos para todos os pontos pertencentes ao espaço, e não só aos pontos utilizados na fase de ajustamento. Neste estudo utilizou-se o método de interpolação *Thin-Plate*

*Splines* – TPS, que é um método de interpolação que procura minimizar a intensidade da distorção envolvida na transformação entre duas configurações.

As equações [5] e [6] representam as funções que minimizam a curvatura total em um determinado ponto de coordenadas  $x$  e  $y$ .

$$f_x(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=1}^n w_i U(R) \quad [5]$$

$$f_y(x, y) = a_3 + a_4x + a_5y + \sum_{i=1}^n g_i U(R) \quad [6]$$

As equações [5] e [6] permitem interpolar qualquer ponto  $x$  e  $y$  pertencente ao espaço e possui duas componentes: uma componente linear representada pelos termos em  $a$ , e uma componente de curvatura representada por um somatório. Sem as componentes de curvatura, os pontos seriam deformados uniformemente segundo uma transformação afim.

## **2.5. Desenvolvimento de Aplicações para a Internet**

As aplicações voltadas para a internet têm recebido uma grande atenção por atingir uma grande quantidade de usuários quase que instantaneamente. Essas aplicações podem ser divididas em duas frentes: a que roda no servidor e outra que é executada no cliente, ou seja, no próprio navegador do usuário, sendo que as linguagens que são interpretadas no servidor possuem uma maior capacidade de processamento e recursos do que as que rodam no cliente.

Atualmente existe uma grande variedade de tecnologias que podem ser utilizadas no desenvolvimento de aplicações voltadas para a internet.

### **2.5.1. Servidor Web**

Os Servidor web é um computador que possui um programa específico instalado que lhe permite receber requisições, e enviar respostas a um

navegador na internet por meio de um protocolo de comunicação denominado HTTP, sendo que a resposta deve ser escrita em uma linguagem que o navegador consiga interpretar. Normalmente utiliza-se HTML, CSS e Javascript.

No caso do presente trabalho, foi utilizado o servidor *Apache http Server Project 2.2.11* distribuído pela *The Apache Software Foundation*, um dos servidores mais utilizados no mundo.

### **2.5.2. Javascript e AJAX**

A linguagem javascript é uma linguagem que roda no cliente tendo grande utilidade no fornecimento de interatividade ao HTML. Com o javascript é possível acrescentar um maior dinamismo à página web, capturando a interação entre o usuário e o sistema. O AJAX, ou *Asynchronous Javascript and XML*, nada mais é que uma forma de mesclar outras tecnologias já conhecidas com o objetivo de tornar as páginas web mais interativas (Niederauer, 2007). O uso do javascript de forma assíncrona permite que a resposta do servidor à uma requisição feita pelo cliente atualize somente uma parte específica da página, não havendo a necessidade de se carregar todo o conteúdo novamente.

### **2.5.3. CSS**

A *Cascading Style Sheets* é uma linguagem que define a apresentação visual de documentos escritos em algum tipo de linguagem de marcação, como por exemplo, o HTML e o XML. A utilização da CSS permite que o desenvolvedor possa separar o código responsável pela apresentação do código responsável pelo processamento. Uma grande dificuldade atual é a padronização da interpretação pelos diferentes navegadores disponíveis no mercado. Diferentes navegadores podem gerar diferentes saídas para o mesmo código.

#### 2.5.4. XML

A XML surgiu da necessidade de utilização de uma nova linguagem, totalmente extensível e estruturada, que combinasse a flexibilidade da SGML(Standard Generalized Markup Language) com a simplicidade da HTML (HyperText Markup Language). Tem por objetivo descrever os dados e seus metadados de forma estruturada por intermédio de marcações (Figura 3).

```
<?xml version="1.0"?>
<markers>
  <marker lng="-43.8391" lat="-20.4848" />
  <marker lng="-43.7854" lat="-20.6596" />
  <marker lng="-42.882" lat="-20.754" />
  <marker lng="-42.8969" lat="-20.4116" />
  <marker lng="-43.5034" lat="-20.3856" />
  <marker lng="-43.809" lat="-20.2534" />
</markers>
```

Figura 3. Estrutura de um documento XML.

O número de marcações possíveis de construção é ilimitado, ficando a critério do próprio usuário de acordo com as necessidades de suas aplicações.

Atualmente, a XML é a linguagem recomendada para o intercâmbio de dados pela World Wide Web Consortium (W3C), sendo utilizada por outras organizações com o mesmo objetivo de facilitar a interoperabilidade entre sistemas.

#### 2.5.5. PHP

O PHP (Hypertext Preprocessor) é uma linguagem de programação livre especialmente desenvolvida para o ambiente web. A linguagem é interpretada no servidor e então enviada para o cliente. Possui uma grande vantagem de poder ser embutida dentro de código em HTML por meio de tags específicas.

### 2.5.6. CGI

A CGI é uma tecnologia que permite gerar páginas web de forma dinâmica e em tempo real, passando parâmetros para um programa executável que roda no servidor web. O resultado do processamento pelo programa é então retornado para o servidor, que envia o resultado para o navegador. O script CGI pode ser escrito em diferentes linguagens. No entanto, o servidor utilizado deve ser capaz de executar tal script. Neste trabalho foi utilizada a linguagem C++ para gerar o script CGI. Neste trabalho o script CGI é responsável por todos os cálculos de coordenadas nas fases do ajustamento e interpolação.

## 3 METODOLOGIA PROPOSTA

Com base na bibliografia estudada é apresentada a seguinte metodologia para construção de Espaços Funcionais na web (Figura 4)

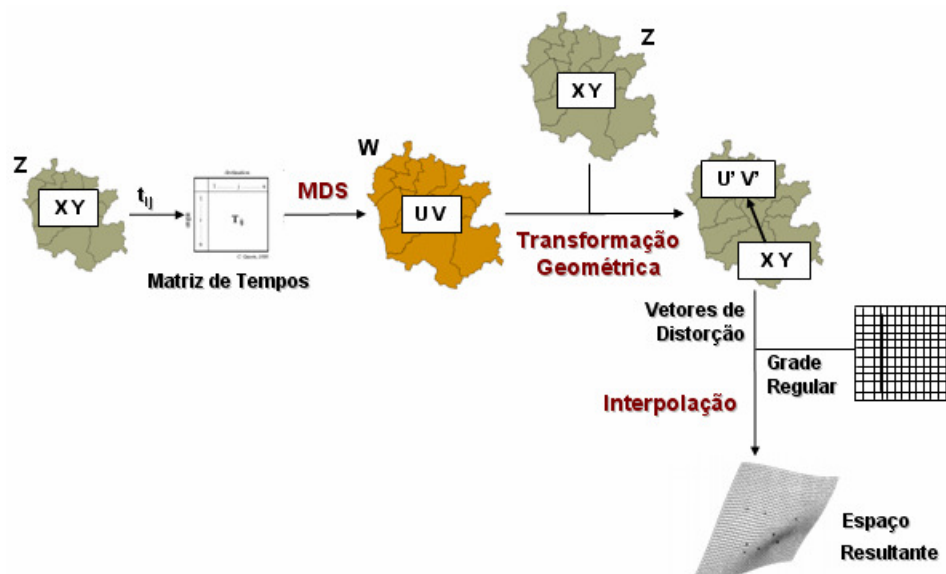


Figura 4. Metodologia do experimento

A metodologia apresentada prevê a seguinte sequência de ações:

1. Levantamento da rede de transportes de forma a determinar as coordenadas X e Y dos nós e suas respectivas distâncias.
2. Construção da matriz de dissimilaridades com base na variável de interesse para a aplicação. No caso deste trabalho, foi atribuída uma velocidade média a cada aresta da rede, de forma a ser possível determinar qual o tempo de acesso entre os nós.
3. De posse da matriz de dissimilaridades aplicar o método CMDS para determinar uma configuração espacial (coordenadas U e V) dos pontos da rede.
4. Com as coordenadas dos sistemas Z e W, utilizar uma transformação geométrica seguida de um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados para determinar as coordenadas ajustadas  $U'$  e  $V'$ . Neste trabalho foi utilizada a transformação afim.
5. Determinar os coeficientes de interpolação pelo método TPS utilizando os vetores de deslocamento entre Z e  $W'$ . Usar o resultado para interpolar todo o espaço  $W''$ .
6. Utilizar uma grade regular nas equações de interpolação para observar o comportamento de todo o espaço.

Para verificar se a metodologia funciona, construiu-se um experimento utilizando PHP, CSS, Javascript, AJAX, CGI, HTML e XML permitindo processar e visualizar os resultados da metodologia em um ambiente web.

#### **4 EXPERIMENTO**

O experimento consiste em uma página web em que possam ser apresentados os resultados da metodologia proposta no item 3.

A página inicial (Figura 5) possui um menu em sua parte superior com as seguintes opções: Considerações Iniciais, Metodologia, Dados Iniciais, Resultados e Considerações Finais. Todas as opções fornecendo algum tipo de informação sobre o trabalho.

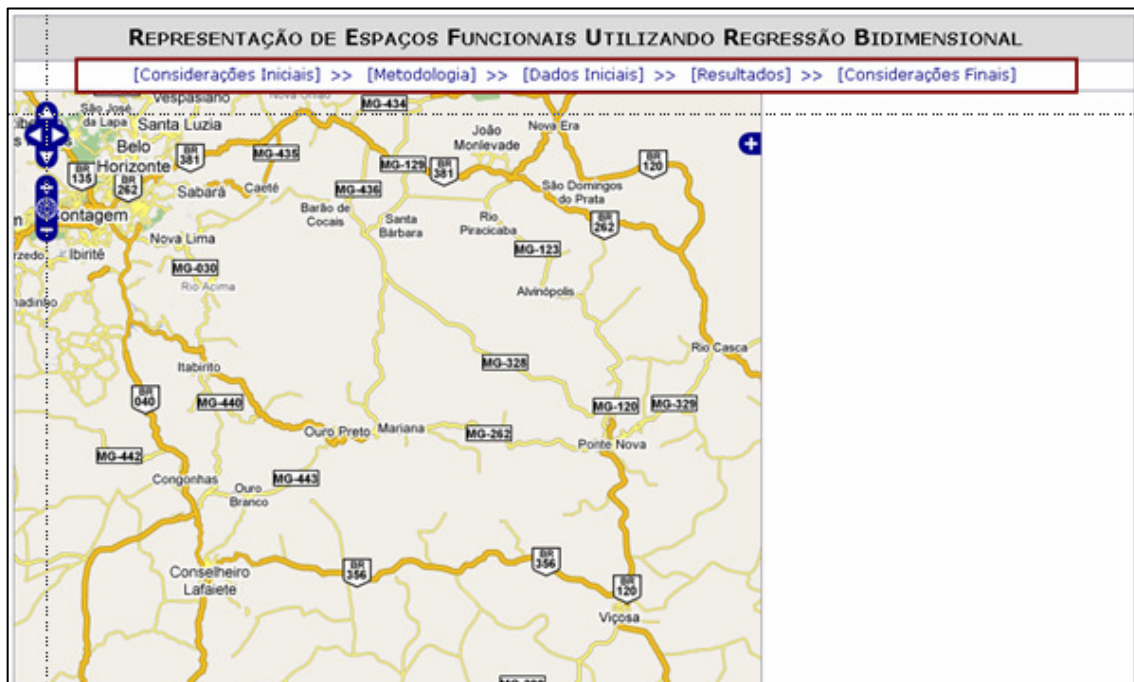


Figura 5. Página inicial do trabalho.

Para cada opção possível de seleção, é apresentada a ação do usuário, a solicitação do cliente, o processamento e resposta do servidor.

#### 4.1. Considerações Iniciais

**Ação do usuário:** Clicar na opção “[Considerações Iniciais]” na barra do menu de operações.

**Solicitação do Cliente:** A solicitação das informações é feita utilizando AJAX.

**Processamento e resposta do servidor:** Um arquivo PHP no servidor recebe a solicitação do cliente, processa os dados e envia a resposta em HTML para o navegador sem que haja a necessidade de recarregar a página.

Todo o esquema desse processo pode ser observado na figura 6.

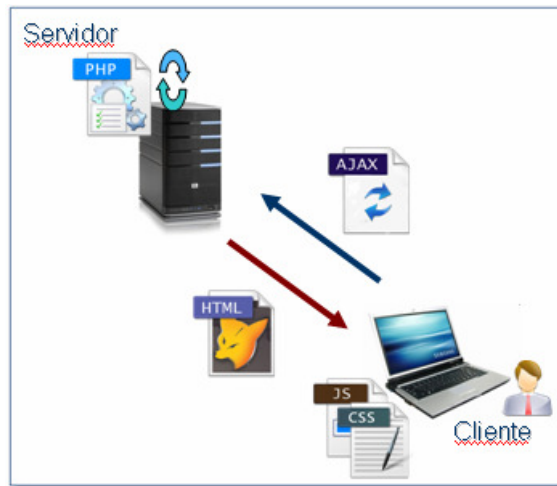


Figura 6. Processamento das considerações iniciais.

#### 4.2. Metodologia

**Ação do usuário:** Clicar na opção “[Metodologia]” na barra do menu de operações.

**Solicitação do Cliente:** A solicitação das informações é feita utilizando AJAX.

**Processamento e resposta do servidor:** Um arquivo PHP no servidor recebe a solicitação do cliente, processa os dados e envia a resposta em HTML para o navegador sem que haja a necessidade de recarregar a página.

Todo o esquema desse processo pode ser observado na figura 7.

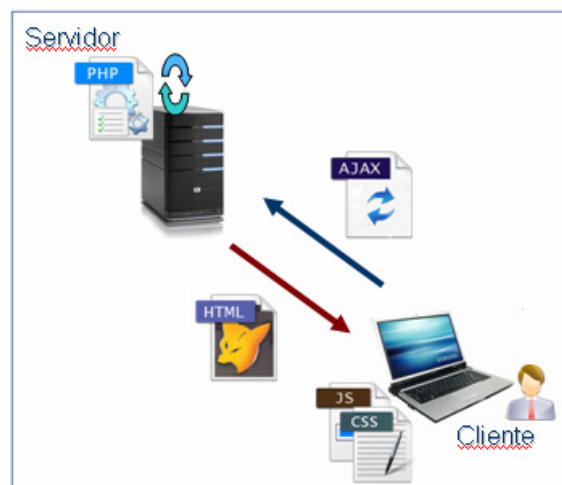


Figura 7. Processamento da metodologia.

### 4.3. Dados Iniciais

**Ação do usuário:** Clicar na opção “[Dados Iniciais]” na barra do menu de operações.

**Solicitação do Cliente:** A solicitação das informações é feita utilizando AJAX.

**Processamento e resposta do servidor:** Um arquivo PHP no servidor recebe a solicitação do cliente, lê os dados (pontos e matriz de dissimilaridade) contidos em arquivos de texto, processa os dados e envia a resposta em HTML para o navegador sem que haja a necessidade de recarregar a página.

Todo o esquema desse processo pode ser observado na figura 8.

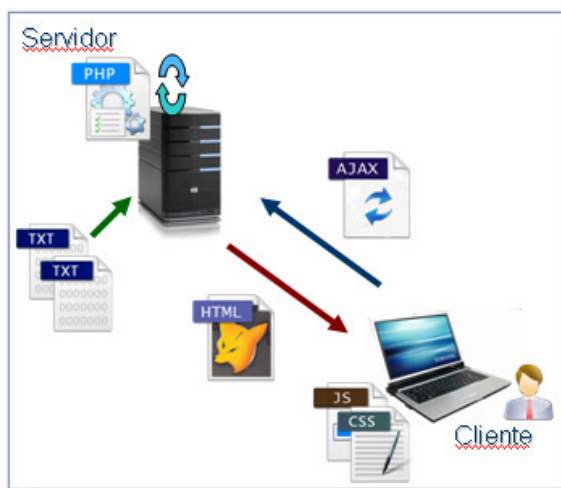


Figura 8. Processamento dos dados iniciais.

### 4.4. Resultados

**Ação do usuário:** Clicar na opção “[Resultados]” na barra do menu de operações.

**Solicitação do Cliente:** A solicitação das informações é feita utilizando AJAX.

**Processamento e resposta do servidor:** Um arquivo PHP no servidor recebe a solicitação do cliente e executa um script CGI. Este gera os arquivos XML com as coordenadas dos pontos dos diferentes estágios da metodologia. O XML é lido com AJAX e o resultado apresentado do lado direito, sendo possível

clicar nos marcadores coloridos para que os mesmos sejam inseridos no mapa. Esse processo é feito com o AJAX. Tudo é feito sem que haja a necessidade de recarregar a página.

Todo o esquema desse processo pode ser observado na figura 9.

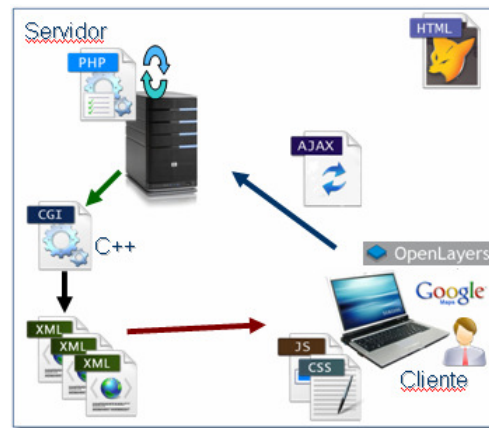


Figura 9. Processamento dos resultados.

Uma vez inseridos os pontos e as grades no mapa, é possível selecionar quais as camadas de informação estarão visíveis no mapa (Figura 10).



Figura 10. Visualização dos resultados.

#### 4.5. Considerações Finais

**Ação do usuário:** Clicar na opção “[Considerações Finais]” na barra do menu de operações.

**Solicitação do Cliente:** A solicitação das informações é feita utilizando AJAX.

**Processamento e resposta do servidor:** Um arquivo PHP no servidor recebe a solicitação do cliente, processa os dados e envia a resposta em HTML para o navegador sem que haja a necessidade de recarregar a página.

Todo o esquema desse processo pode ser observado na figura 11.

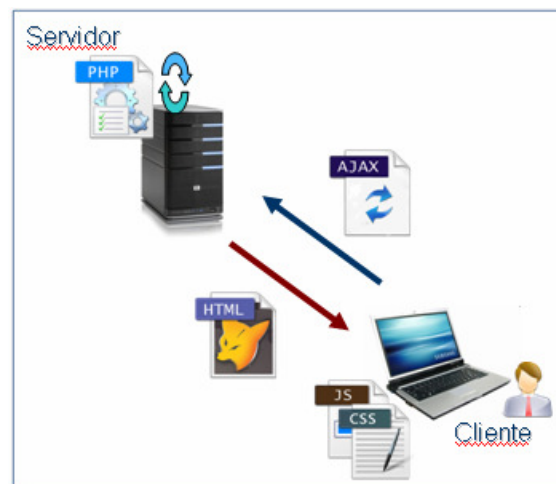


Figura 11. Processamento das considerações finais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na construção dos Espaços Funcionais, as variáveis representativas do espaço geográfico podem ser determinadas de acordo com a análise desejada, ficando a critério do usuário determiná-las. Cada tipo de variável pode fornecer uma interpretação espaço geográfico diferente da trivial.

O assunto tem sua relevância no planejamento e avaliação da eficiência de redes de infraestrutura de transportes, contribuindo assim para a redução de custos operacionais.

Após a implementação da metodologia na web, o objetivo do presente trabalho foi considerado alcançado, uma vez que a mesma permitiu a construção de um Espaço Funcional com base numa rede de transportes simples.

Fica como sugestão para trabalhos futuros a implementação para redes mais complexas e multimodais.

## 6 BIBLIOGRAFIA

APACHE XML PROJECT - part of The Apache Software Foundation, <<http://xml.apache.org>> Acesso em: 10 fev. 2009.

Babin, L.; Ajax com PHP: Do iniciante ao profissional. Alta Books. 2007. 209p.

Bookstein, F. L.; 1989. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations. Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. 11, nº 6.

Cauvin, C.; 2001. Cognitive and Cartographic Representations Towards a Comprehensive Approach. Cybergeo. nº 206.

Cauvin, C.; 2002. A Systemic Approach to Transport Accessibility. A Methodology Developed in Strasbourg: 1982-2002. Cybergeo. nº 311.

Dias, M. H.; Cauvin, C.; Alegria, M. F.; 2000. Comparação de configurações cartográficas através da regressão bidimensional. Finisterra, 69, p. 95-107.

Extensible Markup Language (XML) 1.0. 4th ed.. [S.l.]: World Wide Web Consortium, 2006. p. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml-20060816/>>. Acesso em: 10 fev. 2009.

Friedman A.; Kohler B.; 2003. Bidimensional Regression: Accessing the Configural Similarity and Accuracy of Cognitive Maps and Other Two-Dimensional Data Sets. Psychological Methods, v. 8, nº 4, p. 468-491.

Kitchin, R. M.; Fotheringham, A. S.; 1998. The Effects os Spatial Locational Cueing on the Analysis of aggregate Cognitive Mapping Data. Enviromment and Planning, v. 30, p. 2245-2253.

OpenLayers - free maps for web, < <http://openlayers.org/>> Acesso em: 10 fev. 2009.

Niedrauer, J.; Web Interativa com Ajax e PHP. Novatec. 2007. 288p.

Niedrauer, J.; PHP para que conhece PHP: recursos avançados para a criação de websites dinâmicos. Novatec. 2004. 480p.

Symington, A.; Charlton, M. E.; Brunsdon, C. F.; 2001. Using bidimensional regression to explore map lineage. Computers, Enviromment and Urban Systems. v. 26, p. 201-218.

Tobler W.; 1977. Bidimensional regression : a computer program. University of Santa Barbara.

Tobler W.; 1977. The trilateration problem. University of Santa Barbara.

Wallace R. G.; 2002. The Shape of Space: Applying Geometric Morphometrics to Geographic Data.. *Environment and Planning A*, v. 34, p. 119-144.

Young F. W.; 1985. Multidimensional Scaling. *Encyclopedia of Statistical Sciences*, v. 5.