

# O tempo de viagem da população rural aos serviços de saúde mapeado em sistemas de Informação Geográfica (SIG)

**Ricardo Vicente Ferreira**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

**Jorge da Graça Raffo**

Universidade de São Paulo

p. 211–229

revista

**Geo**   
**USP**

espaço e tempo

**Volume 18, nº 1 (2014)**

ISSN 2179-0892

Artigo disponível em:

<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/81101>

**Como citar este ensaio:**

FERREIRA, R. V.; RAFFO, J. G. O tempo de viagem da população rural aos serviços de saúde mapeado em sistemas de informação geográfica (SIG). *GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 211-229, 2014.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 3.0 License.

# O tempo de viagem da população rural aos serviços de saúde mapeado em sistemas de informação geográfica (SIG)

Ricardo Vicente Ferreira

Jorge da Graça Raffo

---

## Resumo

Para a população que vive no campo, a distância e o tempo de viagem são parâmetros importantes para a avaliação do acesso a serviços de saúde. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia baseada em SIG para o mapeamento das redes de estradas rurais, tendo em vista a determinação de impedâncias de viagem para medir o tempo de viagem da população rural a locais de atendimento à saúde. Dados sobre as classes de rodovias rurais, declividade, sinuosidade, visibilidade e uso da terra são considerados na composição de uma síntese de impedâncias e sua aplicação ao tempo de viagem por veículo automotor. A metodologia foi aplicada na região de Registro (SP), e os resultados indicam uma distribuição espacial desigual dos serviços de saúde.

**Palavras-chave:** Mapeamento. Sistemas de informação geográfica. Impedâncias em rede. Tempo de viagem. Serviços de saúde.

---

## Rural population travel time to health services, mapped on Geographic Information System (GIS).

---

### Abstract

Distance and travel time are important parameters in the evaluation of access to health services, especially for the population living in the countryside. In the present work, a GIS-based methodology is developed for the mapping of rural road networks and the determination of travel impedances in order to optimize the travel time of the rural population to health care facilities. Data on rural roads classes, slope, sinuosity, visibility and land use are considered in the composition of

the impedances synthesis and its application on car travel time. The methodology was applied to the region of Registro (SP), and the results indicate an unequal distribution of health services.

**Key words:** Mapping. Geographic information system. Network impedances. Travel-time. Health care.

---

## Introdução

As considerações a respeito das necessidades de traslado para urgência ou consultas ambulatoriais comuns são geralmente feitas levando-se em conta a média de tempo e as distâncias que separam os pacientes dos locais de atendimento. A promoção do acesso igualitário aos serviços médicos é uma das preocupações do sistema de atenção à saúde (Brasil, 2002) e o grau de acesso real aos serviços de saúde depende, segundo Abel-Smith e Leiserson (apud Unglerti; Rosenburgi; Junqueira, 1987), da distância que se deve percorrer para obtê-los, do tempo de viagem e do seu custo. No caso da população rural, a distância e o tempo de viagem são elementos de grande importância para a avaliação do acesso aos serviços de saúde (Bentham; Haynes, 1985, p. 237; Thouez; Bodson; Joseph, 1988, p. 35; Martin et al., 2002, p. 4).

A estrutura que proporciona condições de viagem às populações rurais é a rede rodoviária rural. Uma das tarefas da Geografia tem sido o estudo das redes a partir da representação em mapas e a aplicação de métodos de análise espacial que, no plano analítico, tem sido mais bem conduzida quando mediadas pelos sistemas de informação geográfica (SIG).

## Objetivos

O presente texto descreve o encaminhamento metodológico para o mapeamento de uma rede de rodovias rurais com indicações de impedâncias de viagem. O trabalho foi apoiado em tecnologias do geoprocessamento e teve por objetivo a construção de um sistema de informação geográfica para estimar o tempo de traslado da população rural aos serviços de saúde. Dois resultados são destacados: (I) o mapeamento da rede de rodovias rurais e de distintos atributos espaciais a ela relacionados; (II) a integração de informações espaciais com vistas a compor uma síntese impedâncias<sup>1</sup> em rede SIG.

A análise de redes é o processo que possibilita, entre outras coisas, a identificação de caminhos ótimos e de restrições quando se pretende verificar a viagem da população rural até os núcleos urbanos. No presente caso, as impedâncias se referem aos impedimentos ou restrições para a realização de viagens em tempo ótimo por meio de veículos automotores.

---

1 Em análises de redes geográficas [...], é a medida da resistência imposta ao fluxo na rede. Uma impedância maior indica maior resistência ao movimento. O valor da impedância depende de um número de fatores, tais como a característica do arco [...], o tipo de recurso ao longo do arco na rede e a direção do movimento na rede. Um caminho ótimo numa rede de arcos é aquele que apresenta menor resistência (menor impedância) (Teixeira; Christofolletti, 1997, p. 138).

A região geográfica selecionada para aplicação corresponde a microrregião de Registro (SP), delimitada em unidade administrativa regional proposta pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Sobre essa área, foi construída uma base de dados geográficos em SIG, com informações referentes à malha rodoviária rural, relevo, uso da terra e cobertura vegetal, população e locais de serviços de saúde.

## **Acessibilidade e mobilidade geográfica**

A acessibilidade geográfica implica na capacidade de uma determinada localidade ser alcançada. Isso envolve parâmetros de referência ou de medida que, de alguma maneira, permitem julgar sobre a separação espacial que existe entre dois ou mais pontos (Hansen, 1959, p. 73). Pensando-se em espaços de grande dimensão onde a mobilidade depende da capacidade de rolamento, a acessibilidade depende do sistema de transporte, que deve promover condições para se transpor longas distâncias entre diferentes localidades. Nesse caso, a eficiência está associada a um custo mínimo possível de valor, energia e tempo e a um custo máximo de segurança e conforto. Segundo Ingram (1971, p. 101), acessibilidade está relacionada à habilidade de um sistema de transporte promover, por meio de custos eficientes, a superação da barreira da distância que separa diferentes localidades.

O entendimento da mobilidade e acessibilidade em áreas ruralizadas se faz sobre o trinômio distância-tempo-custo, esta é uma questão que se sobressai em diversos estudos sobre o assunto (Shannon; Bashshur; Metzner, 1969; Thouez; Bodson; Joseph, 1988; Higgs; White, 1997; Nemet; Bailey, 2000; Martin et al., 2002; Brabyn; Barnett, 2004; Arcury et al., 2005). Aqui, o enfoque é para a rede de rodovias rurais como promotora de condições ótimas de viagem, e esse aspecto se reflete na compreensão da mobilidade das populações no campo e, conseqüentemente, em seu acesso aos serviços de saúde. A importância que os indivíduos atribuem ao custo de viagem pode variar entre o valor monetário e o tempo de espera para atingir um destino, mas essas são decisões subjetivas (Witthuhn, 1979, p. 179). Todavia, quando se trata da saúde humana o usuário do sistema de transporte penaliza mais o tempo de viagem que a distância percorrida (Bosanac; Parkinson; Hall, 1976, p. 617). Nesse caso, a unidade mais representativa para se medir a acessibilidade é o tempo demandado para o acesso aos locais de atendimento. A viabilidade de se transpor grandes distâncias implica numa relação complexa entre a separação espacial da população e os locais que prestam serviços à saúde, subjacente a isso há um forte componente geográfico em ação, expresso na natureza do espaço atravessado, na estrutura montada para o acesso e no(s) meios(s) disponível(is) para o deslocamento (Black et al., 2004, p. 1).

## **Processo de seleção e organização de dados espaciais**

O encaminhamento do método aqui apresentado se deu nas seguintes etapas: coleta de dados, modelagem de dados em SIG, associação de atributos à rede SIG, normalização de dados, análise e avaliação de resultados.

O mapa da rede de rodovias rurais com atributos de impedâncias compõe a base para o desenvolvimento da metodologia e sua elaboração resultou de um processo de digitalização, modelagem de dados, seleção e combinação de camadas temáticas dispostas em uma base SIG (Tabela I).

## Tabela 1

### Descrição e análise da base de dados utilizada na pesquisa

base	fonte	processo	softwares <sup>d</sup>
rodovias	DNER; DER, <sup>a</sup> Google Earth	digitalização e vetorização de mapas; interpretação visual de mosaico de imagens; tabulação de dados	Google Earth v.5 SPRING 4.2 Terraview 3.4
MDE	SIG-RB <sup>b</sup>	seleção; exportação matricial	ILWIS 3.4
uso da terra e cobertura veget.	SIG-RB	seleção; exportação vetorial	Terraview 3.4
hidrografia	SIG-RB	seleção; exportação vetorial	Terraview 3.4
divisões administrativas	IBGE	download de dados espaciais; tabulação de dados	Terraview 3.4
postos de saúde e hospitais	CNES <sup>c</sup>	digitalização a partir do endereçamento postal e tabulação de dados	Google Earth v.5 Terraview 3.4
habitações rurais	IBGE; imagens Google Earth	digitalização por interpretação visual de mosaico de imagens; tabulação de dados	Google Earth v.5 Terraview 3.4
–	–	análise de rede em SIG	SPRING 4.2 gvSIG 1.10

<sup>a</sup> Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Departamento de Estradas de Rodagem.

<sup>b</sup> Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (<http://www.sigrb.com.br/>).

<sup>c</sup> Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde

<sup>d</sup> Processados em computador com núcleo duplo de 1.6GHz de velocidade e 32 bits; 2GB de memória de acesso aleatório e disco rígido de 120 GB.

A rede de rodovias rurais é a base sobre a qual foram associados os atributos de impedância e consiste numa rede de arcos vetoriais organizados em uma estratégia dual, ou seja, numa relação geometria-atributos (vetor-tabela). Sua estrutura original se dá em eixos (arcos) com descrições do tipo de rodovia, das velocidades, do revestimento das pistas e dos perímetros atravessados (rural ou urbano) (Tabela 2).

## Tabela 2

### Atributos associados à rede rodoviária rural

categorias (atributos)	domínios	classes de atributos
revestimento	pavimentado	asfáltico
		revestimento primário
	não pavimentado	natural composto
		natural
velocidades diretrizes	via expressa	90-110 km
	pista simples	60-80 km
	vicinais	30-50 km
perímetro	–	rural
		urbano

### Modelagem de dados da rede rodoviária rural

Originalmente os eixos rodoviários mapeados descrevem apenas os atributos relativos à classe do projeto rodoviário, que por seu turno, indicam as velocidades diretrizes. As imputações de outros atributos e variáveis que caracterizam os distintos perímetros viários se deram por sobreposição de mapas.

As combinações de mapas foram feitas entre camadas poligonais e camadas de linhas, agregando assim os atributos temáticos externos à rede. Esse procedimento resulta no fracionamento dos arcos (vetores) da rede e no aumento do número de registros na tabela de atributos, pois segmenta os arcos nos limites do contato entre as classes temáticas das distintas camadas. De modo a minimizar o fracionamento dos arcos, procedeu-se à simplificação das classes dos mapas temáticos.

Estas manipulações resultaram na inserção de novas variáveis na tabela de atributos da rede, são elas: classes de declividade dominantes da paisagem, classes com dados da sinuosidade e visibilidade nas estradas. Cada uma dessas variáveis resultaram de um processo de modelagem cartográfica, que é descrito a seguir.

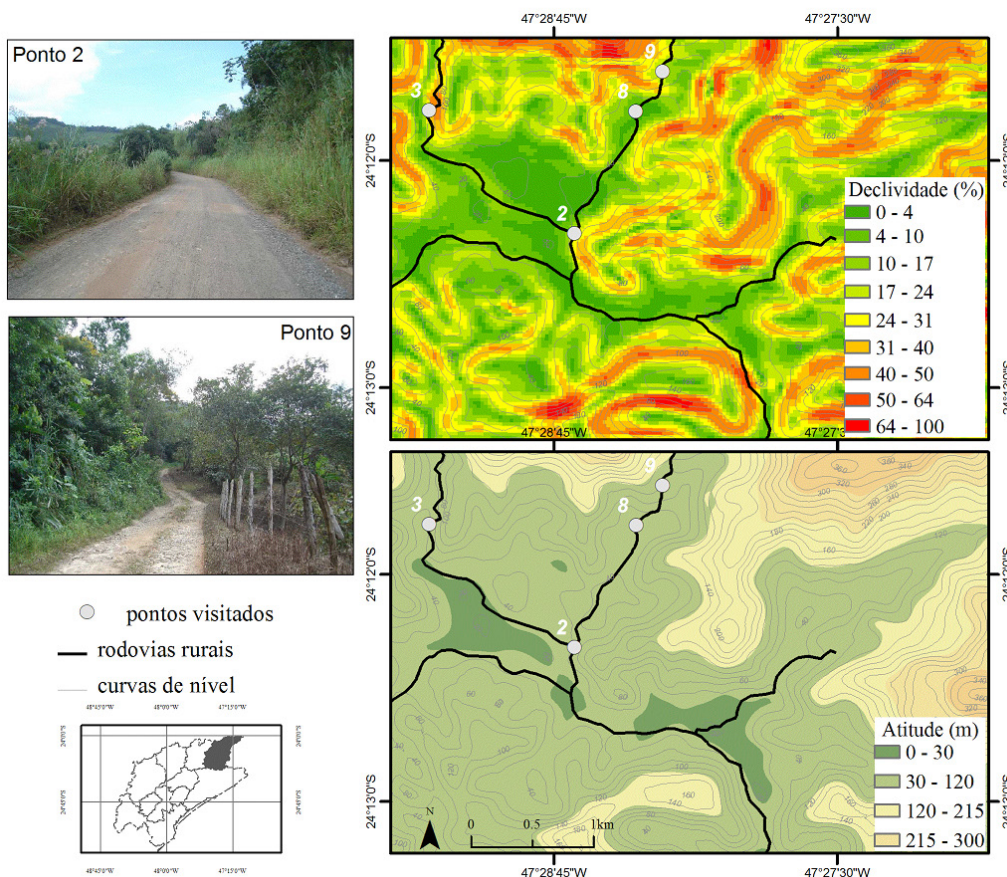
### Classificação da rede pela declividade

A definição das classes de declividades se fez por uma investigação geral, estabelecendo uma relação de causalidade entre as declividades mapeadas e as condições de viagem por veículo automotor. As observações em campo indicaram que a declividade é um elemento redutor de velocidade por rolamento, com maior interferência em rodovias vicinais, sobretudo nas mais afastadas dos núcleos urbanos. Nestas condições, os defeitos aumentam nas pistas na forma de buracos e perda de agregados, tendendo a agravar-se em áreas de relevo acidentado e com altas declividades (Figura 1).



## Figura 1

Ilustração de dois pontos visitados e representação da declividade e da hipsometria. O ponto 2 mostra uma estrada local com revestimento primário. O ponto 9, uma estrada local com revestimento natural



A definição das classes de declividade adotada na pesquisa se apoiou em orientações técnicas do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999, p. 24) e foram adaptadas de acordo com as observações em campo. As declividades foram definidas em três níveis qualitativos, que sintetizam as principais faixas de mudança observada em campo: declividade baixa (de 0 a 7,5%), média (de 7,5 a 13%) e alta (acima de 13%). O procedimento adotado no SIG para fazer essa associação foi considerar apenas aos eixos vetoriais das estradas vicinais e combiná-los com um mapa de declividades modelado em polígonos, agregando os atributos de declividade da paisagem aos segmentos das rodovias.

### Associação do atributo sinuosidade

A medida da sinuosidade é feita pela razão entre os comprimentos dos arcos originais da rede e a medida dos mesmos arcos com seus comprimentos simplificados por um limiar previamente definido. Essa metodologia se baseia em procedimento adotado por Bagheri, Benwell e Holt (2005, p. 3), quando propõem um método de medida espacial de acessibilidade aos servi-

ços primários de saúde. A proposição desses autores fora preconizada por Hagget e Chorley (1969, p. 61), que propuseram o cálculo com base em duas variáveis: o comprimento observado da rodovia e o comprimento direto.

Em campo foi observada a relação entre velocidade média praticada por veículo automotor e o índice de sinuosidade indicado para cada segmento de rodovia. No total, percorreu-se 83 km de rodovias segmentadas em 23 partes.

O procedimento se deu em cinco passos: (i) cálculo do comprimento dos arcos; (ii) Simplificação das linhas da rede pela aplicação de limiares de redução o número de pontos intermediários dos arcos vetoriais. No caso adotou-se diferentes limiares segundo a classe de rodovias: arteriais 200 metros; coletoras 150 metros e locais 100 metros; (iii) recálculo do comprimento dos arcos simplificados; (iv) razão entre os comprimentos simplificados e os comprimentos originais. O quociente retorna valores entre 0 e 1, quanto mais distante de 1, mais sinuosa é a pista. Valores igual ou muito próximos de 1 indicam nenhuma sinuosidade. Formalmente, essa relação se faz por:

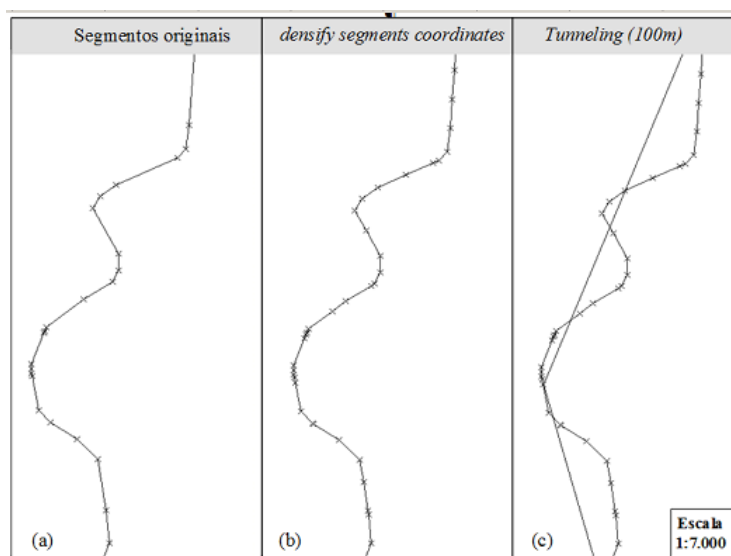
$$IS = Ct^* / C_o$$

Onde IS é o índice de sinuosidade; Ct\* é o comprimento do arco após a aplicação de um limiar de simplificação de arcos, geralmente definido em metros (\*); Co é o comprimento original do arco; (v) verificação dos resultados e identificação de limites de corte para o fatiamento de classes de sinuosidade. A classificação foi qualificada em nula, baixa, média e alta sinuosidade.

Os cortes foram definidos pela comparação entre as formas dos arcos e valores do índice. O fatiamento das classes, em passos variados (Figura 2, Tabela 3).

## Figura 2

Exemplo de aplicação do recurso tunneling, disponível no software ILWIS 3.4 e usado no cálculo do índice de sinuosidade (IS). (a) comprimento original (Co) 1.718,093 m. (b) resultado da aplicação densify coordinates; (c) comprimento tunneling (Ct) 1.487,31 m. Resultado: IS = 0,8656 (alta sinuosidade)





### Tabela 3

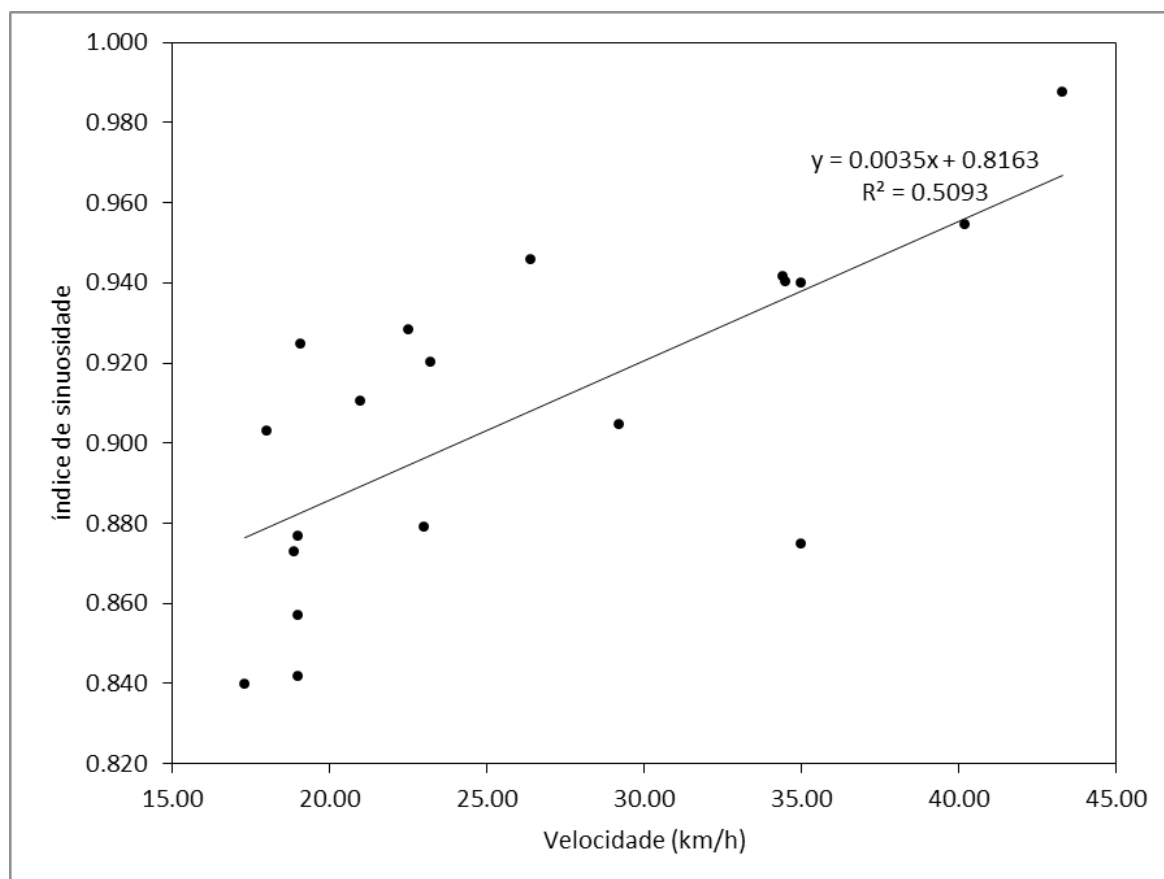
Valores de corte do índice de sinuosidade das rodovias rurais da microrregião de Registro (SP)

classe	índice de sinuosidade	
	mínimo	máximo
nula	0,983	1
baixa	0,950	0,982
média	0,890	0,949
alta	0,820	0,889

A análise das observações em campo sobre a velocidade e o índice de sinuosidade para as rodovias vicinais não pavimentadas mostra um coeficiente de correlação moderado, com proporção de variação ( $r^2$ ) de 51%, indicando uma tendência ao aumento da velocidade com o aumento do índice, lembrando que o aumento da sinuosidade é inversamente proporcional ao valor índice (Figura 3).

### Figura 3

Regressão linear para a relação entre a sinuosidade e velocidades observadas em campo. Coeficiente de correlação igual a 0,713



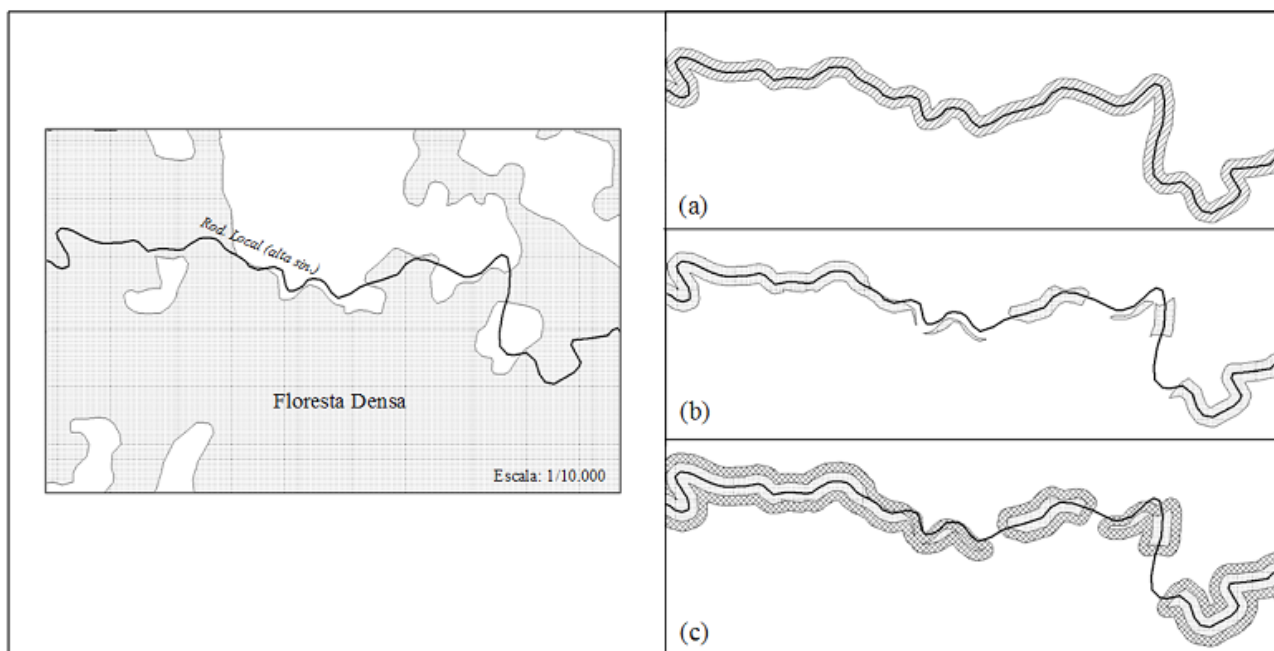
## Classificação da rede pela visibilidade

A inserção da variável visibilidade parte da ideia de que as rodovias com alta e média sinuosidade que atravessam superfícies com predomínio de floresta densa, a visibilidade na pista é prejudicada.

O procedimento para a modelagem dessa variável no SIG se fez nos seguintes passos: (i) seleção de arcos classificados como alta e média sinuosidade; (ii) aplicação de buffer de 30 metros a partir dos arcos da classe coletora e de 20 metros a partir da classe local; (iii) intersecção dos polígonos do buffer com o mapa “floresta densa”; (iv) nova aplicação de buffer, partindo do resultado da intersecção para a captura dos arcos rodoviários e classificação dos mesmos (Figura 4).

### Figura 4

Exemplo do processo adotado para atribuir classes de visibilidade nos arcos da rede. (a) buffer de 30 metros a partir da rodovia local; (b) resultado da intersecção entre o buffer e camada “floresta densa”; (c) buffer de 30 metros a partir das intersecções para capturar os trechos onde a rede e o polígono gerado se tocam



Os resultados das combinações de mapas e seus respectivos atributos integraram as variáveis selecionadas para a composição da síntese de impedâncias orientadas à medida do tempo de viagem por veículo automotor. O resumo das descrições de cada categoria pode ser visto na Tabela 4.

## Tabela 4

### Variáveis e atributos de impedância

categoria	atributo	variação
declividade	baixa	0 a 7,5%
	média	7,5 a 13%
	alta	acima de 13%
sinuosidade	nula	0,983 ~ 1
	baixa	0,950 ~ 0,983
	média	0,890 ~ 0,949
	alta	0,800 ~ 0,889
visibilidade	alta	-
	média	
	baixa	

### Definição de impedâncias em rede de rodovias rurais

A construção de uma síntese de impedâncias requer a observação de cada um dos elementos que interferem no desempenho de uma velocidade ótima por rodovias rurais – a velocidade diretriz – a, que é especificada no projeto rodoviário e sobre a qual se estima o tempo médio de viagem. Existem elementos adicionais que agem como fatores de impedância ao movimento, especialmente, nas rodovias vicinais que são as que apresentam maior variabilidade de condições estruturais.

Classificando-se a rede por função e projeto,<sup>2</sup> pode-se constatar fatores gerais a respeito da velocidade nas rodovias. Cada classe de rodovia está sujeita, em maior ou menor medida, a fatores de impedância de viagem que influem de forma heterogênea nos perímetros das classes de rodovias. A espacialização dos distintos fatores permite a modelagem de um SIG para a inferência das condições de viagem nas estradas. No entanto, o problema está em como integrar as diferentes variáveis, atribuindo a cada uma um peso de importância, e também em como associá-las à rede rodoviária modelada em SIG. Para esse propósito, convém refazer seis considerações acerca das impedâncias aplicadas ao tempo de viagem por rolamento:

(i) as impedâncias funcionam como níveis de impedimento à velocidade ótima. Como cada classe funcional de rodovia define velocidades mínimas e máximas seguras, a impedância se impõe à possibilidade de se desenvolver a melhor velocidade na rede (velocidade máxima);

(ii) existem fatores que agem como impedâncias de viagem nas pistas das rodovias rurais. Essas impedâncias são condições impostas normativamente<sup>3</sup> ou são decorrentes de um contexto geográfico (relevo, solo);

(iii) há um grande número de impedâncias, mas a maioria não pode ser inferida com facilidade. No entanto, as características da rede rodoviária, do relevo, da situação geográfica, do uso da terra e da cobertura vegetal são passíveis de mapeamento e dão indícios das restrições à mobilidade por veículo automotor. Com esses elementos, pode-se organizar um banco de dados geográficos, fazer análises espaciais e estimar o tempo médio de viagem;

<sup>2</sup> A *função* dá indicações de mobilidade e integração (velocidade e conexões); o *projeto* oferece indícios de ordem técnica da classe de rodovia (pista simples ou dupla e revestimento) (DNER, 1999).

<sup>3</sup> Normas definidas pela legislação, no caso, o Código Brasileiro de Trânsito. Por exemplo, obrigatoriedade de redução da velocidade em perímetro urbano, uso de retornos para conversões e desaceleração em curvas acentuadas, entre outros.

(iv) o tempo ótimo de viagem é aquele em que se viaja na maior velocidade segura possível, a velocidade máxima. A pior tempo é aquele em que se viaja na velocidade mínima por mais tempo;

(v) existe uma proporcionalidade entre velocidade mínima e velocidade máxima, que depende da classe funcional de cada rodovia. As impedâncias identificadas, descritas e quantificadas a partir das classes de atributos associadas às rodovias podem agir sobre a velocidade máxima (melhor tempo) e restringi-la até o limite da velocidade mínima (pior tempo);

(vi) nos SIG, as descrições do comprimento dos arcos vetoriais e das velocidades em cada perímetro dão medidas de tempo de viagem nos mesmos, e esse tempo pode ser ponderado pelas impedâncias presentes em cada segmento.

Com base nessas considerações, procedeu-se à modelagem dos atributos, tendo em vista a determinação de impedâncias de viagem em rede rodoviária rural.

### **Procedimento para a determinação das impedâncias**

Os mapas selecionados para compor as impedâncias de viagem em rodovias rurais são da ordem seis temas: revestimento, sentido da rodovia, perímetro (urbano/rural), declividade, sinuosidade e visibilidade. Cada um desses temas é descrito por classes ou valores. Essas descrições podem ou não estar associadas a um tipo de rodovia e, ainda que se verifique uma associação, isso não significa que haja um fator de fricção em curso. Um atributo pode funcionar como impedância para uma classe de rodovia e não para outra, e sua entrada no sistema se dá de forma direta, pela aplicação de um valor numérico conhecido, por exemplo, em perímetros urbanos reduzem-se as velocidades diretrizes na ordem de 20%. Por outro lado, um atributo pode interferir na velocidade de alguns segmentos, porém, seu valor não é explícito, nesse caso, parte-se de um processo de inferência de valor, por exemplo, em segmentos que atravessam porções do terreno com declividades com média de 10% e baixa visibilidade, a velocidade diretriz é reduzida em cerca de 15%. Com base nessas considerações, as associações das impedâncias no sistema se fizeram em duas maneiras:

(i) por atributos de impedância direta. Nesse caso, os valores de impedâncias são aplicados aos segmentos em perímetro urbano e em trechos de travessia sobre modo flutuante (balsa). Uma impedância não numérica, mas topológica, é aplicada para o sentido da rodovia, em casos de via de mão única.

(ii) por atributos de impedância inferida. São atributos que concorrem isoladamente ou em conjunto para restringir a mobilidade no espaço. Esses fatores são: a declividade, a sinuosidade, a visibilidade e a qualidade do revestimento das pistas.

No primeiro grupo, as relações já conhecidas para a atribuição direta de valor de impedância foram calculadas e normalizadas de modo a representarem à fricção da velocidade. No segundo caso, os valores foram atribuídos a partir de julgamentos sobre a importância de cada atributo na composição das impedâncias de viagem, adotando-se o processo analítico hierárquico (Analytic Hierarchy Process – AHP).

As verificações em campo e apoio da literatura (Oda, 1995, p. 73) nortearam o procedimento AHP para a determinação de impedâncias de viagem. Como os atributos são de distintas naturezas e podem ou não agir de modo combinado para restringir o movimento na rede, a

análise de suas qualidades pela avaliação multicriterial possibilitou a definição de pesos para a composição das impedâncias, definidas em valores e partindo do julgamento sobre a influência de cada atributo no rolamento por veículo automotor em rodovias rurais.

Considerando que para cada classe de rodovia os atributos de impedância refletem de forma diferente, foi necessário aplicar pesos em duas etapas: uma para atribuir valores à classe de rodovias coletoras e uma segunda à de rodovias locais. O resultado da aplicação AHP e das impedâncias de viagem são mostrados na Tabela 5.

**Tabela 5**

**Valores de impedância das classes de atributos das rodovias rurais coletoras e rodovias rurais locais**

atributos (classe) rodovias coletoras	impedância de viagem	atributos (classes) rodovias locais	impedância de viagem
sinuosidade baixa	0,075	revestimento primário	0,019
sinuosidade média	0,076	sinuosidade baixa	0,030
visibilidade média	0,108	visibilidade média	0,044
visibilidade baixa	0,137	declividade baixa	0,042
sinuosidade alta	0,274	sinuosidade média	0,065
revestimento primário	0,330	visibilidade baixa	0,093
		declividade média	0,096
		sinuosidade alta	0,124
		revestimento composto	0,115
		declividade alta	0,165
		revestimento natural	0,208
índice de consistência do AHP	0,076	Índice de Consistência do AHP	0,060

**Aplicação das impedâncias aos limites de velocidade**

As faixas de velocidades mínimas e máximas de cada classe de rodovia indicam os limites de ação da impedância e, como visto anteriormente, a melhor mobilidade é aquela aonde se viaja na maior velocidade segura possível - velocidade máxima. A impedância aplica-se a essa velocidade podendo reduzi-la à velocidade mínima permitida para uma dada classe de rodovia. Assim, o campo de ação da impedância no modelo aqui proposto depende da classe de rodovia e se aplica a uma *faixa de redução de velocidade* calculada a partir da seguinte equação:

$$FRV = (V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}) / V_{m\acute{a}x}$$

Onde,  $V_{m\acute{a}x}$ , é a velocidade máxima permitida na classe de rodovia;  $V_{m\acute{i}n}$ , é a velocidade mínima permitida na classe de rodovia; FRV, a faixa de redução de velocidade.

A Tabela 6 mostra a síntese das impedâncias consideradas e aplicadas com a indicação do campo que exemplifica a mudança de velocidade quando aplicada individualmente cada uma das impedâncias.<sup>4</sup> A Figura 5 mostra essas relações. Lendo o gráfico no sentido horário, cada raio indica o resultado individual de uma impedância no contexto da FRV. Por exemplo, se um veículo passar de uma rodovia local com revestimento natural para uma coletora com revestimento asfáltico, sua velocidade pode aumentar em 35%; e se um veículo passar de uma rodovia arterial para o transporte flutuante, pode haver uma redução em até 85%.

Na prática, se num dado segmento de rodovia as classes de atributos a ele associadas forem rodovia coletora com rev. primário (4), em perímetro urbano (5), com alta sinuosidade (8) e baixa visibilidade (10), a impedância de viagem nesse arco é a soma dessas impedâncias individuais:  $0,330 + 0,250 + 0,274 + 0,137 = 0,991$ , que corresponde a uma FRV de 0,566,5 ou seja, 39,61 km/h (Tabela 6, Figura 5).

**Tabela 6**

**Síntese das impedâncias aplicadas à velocidade por veículo automotor**

classe de rodovia ou transporte	atributo	classe de atributos	velocidade máxima ( $V_{\max}$ em km/h)	velocidade mínima ( $V_{\min}$ em km/h)	faixa de redução da velocidade (FRV)	impedância (ip) (0,000 – 1,0)	resultado da aplicação individual das impedâncias (km/h)
arteriais	sentido	mão única (1)	110	60	0,455	0,150*	102,5
	perímetro	urbano (2)				0,200	100
coletoras	revestimento	asfáltico (3)	70	30	0,571	0,000	70,0
		rev. primário (4)				0,330	56,8
	perímetro	urbano (5)				0,250	60,0
	sinuosidade	baixa (6)				0,075	67,0
		média (7)				0,076	66,9
		alta (8)				0,274	59,0
	visibilidade	média (9)				0,108	65,7
		baixa (10)				0,137	64,5
locais	revestimento	primário (11)	50	20	0,600	0,019	49,4
		nat. composto (12)				0,115	46,5
		natural (13)				0,208	43,7
	declividade	baixa (14)				0,042	48,7
		média (15)				0,096	47,1
		alta (16)				0,165	45,1
	sinuosidade	baixa (17)				0,030	49,1
		média (18)				0,065	48,1
		alta (19)				0,124	46,3
	visibilidade	alta (20)				0,000	50,0
		média (21)				0,044	48,7
		baixa (22)				0,093	47,2
flutuante	tempo de espera	balsa (23)	18	18	0,333	0,249**	16,5

\* impedância da média de 5 km para se encontrar um retorno; \*\* impedância da média 20 minutos de espera pela travessia

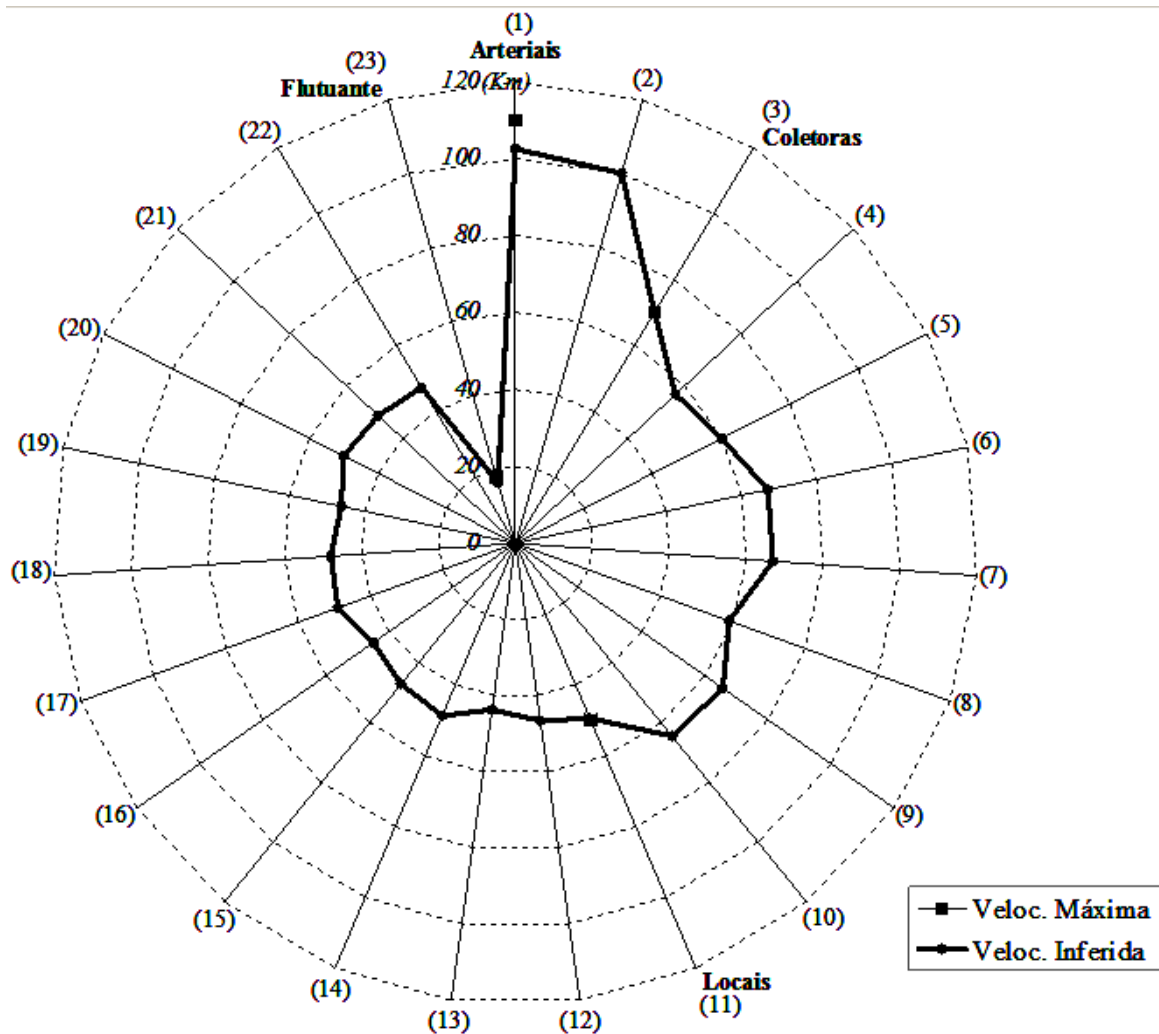
<sup>4</sup> Ver a última coluna da Tabela 6.

<sup>5</sup> Produto de  $0,991 \times 0,571$  (ver FRV das rodovias coletoras, na Tabela 6).



**Figura 5**

Representação das variações nas velocidades diretrizes com impedâncias por classe de atributo  
 resultado da aplicação individual das impedâncias (km/h)



A impedância para um arco de rodovia será a somatória de todas as impedâncias que ocorrem para a mesma até o limite  $l$ . Uma rodovia que não sofre nenhuma impedância a somatória é zero. Para um dado arco de rodovia a entrada da impedância de modo a refletir na velocidade diretriz se fará, primeiramente, calculando a proporção dessa impedância sobre a FRV (faixa de redução de velocidade) associada a esse arco, subtraindo-a de  $l$  e multiplicando pela velocidade máxima. Assim, a medida da velocidade ponderada pelas impedâncias (VP) em um dado segmento  $i$  de estrada rural se faz por

$$VP_i = [1 - (\sum p_i * (FRV_i))] * V_{máx\ i}$$

Onde  $VP_i$  corresponde a velocidade ponderada pela impedância no  $i$ -ésimo arco da rede;  $\sum p_i$  é a soma das impedâncias no  $i$ -ésimo arco da rede;  $V_{máx\ i}$  é a velocidade máxima permitida, que depende da classe de rodovias associada ao arco.

A medida do tempo de viagem a partir de uma dada localidade dependerá do alvo, ou seja, da localização geográfica do posto de saúde ou hospital. Como cada arco tem a descrição da velocidade ponderada pela(s) impedância(s) e de seu comprimento, é possível estimar o tempo em minutos e décimos de minutos pela aplicação da seguinte fórmula:

$$TP_i = (\sum (d_i / VP_i)) * 60$$

Onde  $TP_i$  é o tempo de viagem para a localidade  $i$ ;  $d_i$  é a distância dada pelos comprimentos de cada arco que liga a localidade ao posto de atendimento à saúde;  $VP_i$  é a velocidade ponderada pela impedância em cada segmento que separa a localidade ao posto de atendimento de interesse ou mais próximo.

Com essas aplicações pode-se, pela base SIG, estimar o tempo de viagem por veículo automotor e identificar caminhos ótimos até os hospitais e postos de saúde, vice-versa.

## Considerações finais

A abordagem teórica do conceito de distância e espaço relativo norteou o desenvolvimento e a aplicação da metodologia tendo em vista a montagem de um sistema de informações geográficas voltado para consulta, recuperação e representação de dados sobre o tempo de viagem em rede a serviços de saúde. A metodologia pode ser aplicada a partir de *softwares* com recursos de análise de redes. Destacam-se aqui dois programas gratuitos: Spring e gv-SIG, respectivamente disponíveis nos endereços eletrônicos <http://www.dpi.inpe.br/spring/> e <http://www.gvsig.org>.

Este trabalho analisa componentes espaciais e apresenta um modelo destinado a apoiar o planejamento de ações de acesso à saúde. A metodologia aqui apresentada pode ser aplicada e outras abordagens e dá liberdade para adequação ou inserção de novos procedimentos.

A aplicação na microrregião de Registro (SP) indica que, para o atendimento emergencial em menos de 30 minutos, as estradas vicinais são as que apresentam maior variabilidade de condições para o desempenho de uma velocidade e tempo ótimos de viagem (Figuras 6 e 7).

Na região estudada, levanta-se a hipótese de que a distribuição espacial desigual dos serviços de saúde pode se refletir no acesso geográfico dos habitantes rurais, e algumas populações podem estar sendo penalizadas no tempo necessário para o traslado a serviços hospitalares.

Alguns procedimentos adotados na pesquisa requerem maior aprofundamento, e isso dependerá de aplicações a novas regiões. Nesse sentido, destacam-se as classes de declividade utilizadas e as classes de sinuosidade aplicadas à variação da velocidade por rolamento em pistas vicinais. A metodologia para a definição de limiares de corte do índice de sinuosidade requer revisões e verificações em regiões geográfica diferentes, pois os limiares adotados aqui se aplicam à região selecionada para o estudo.

A experiência do campo indicou que, em alguns casos, os cuidados prestados à manutenção das estradas vicinais variam muito, e isso provavelmente tem a ver com a atenção pública de cada município. O mapeamento dessa variável é fundamental para a determinação do tempo de viagem da população rural pela rede viária. Nesse sentido, os melhores resultados

dependem de produtos atualizados de sensoriamento remoto e com alta resolução espacial. Considerando que o encaminhamento metodológico depende fortemente dessa variável, a qualidade da informação sobre as estradas vicinais permitirá compreender melhor as condições estruturais das rodovias, sobretudo as vicinais.

A medida do tempo de viagem pela síntese de atributos é, nesse caso, a melhor aproximação para a composição de valores de impedância nos SIG, pois os *softwares* com recursos de análise de rede disponibilizam um campo numérico único para a atribuição de valores de impedância. Nesse caso, entende-se que o método de integração dos dados e sua tradução em pesos de impedância são procedimentos importantes para a aplicação.

A metodologia para a montagem de um SIG destinado à análise do tempo de viagem da população rural aos postos de saúde e hospitais atende a duas principais aplicações: (i) o apoio ao planejamento do acesso da população rural a postos de atendimento à saúde e (ii) o auxílio a consultas e atendimento de ocorrências emergenciais por parte dos serviços. Para esses fins, considera-se a aplicação de recursos de análise de rede como caminho mínimo, matriz de origens-destinos e área de serviço. Ambas as aplicações poderiam resultar num melhor planejamento das áreas de influência dos centros de saúde na região e na distribuição das prestações de serviços assistenciais.

### Figura 6

Mobilidade da população rural pela velocidade: microrregião de Registro/SP (Ferreira, 2011, p. 163)

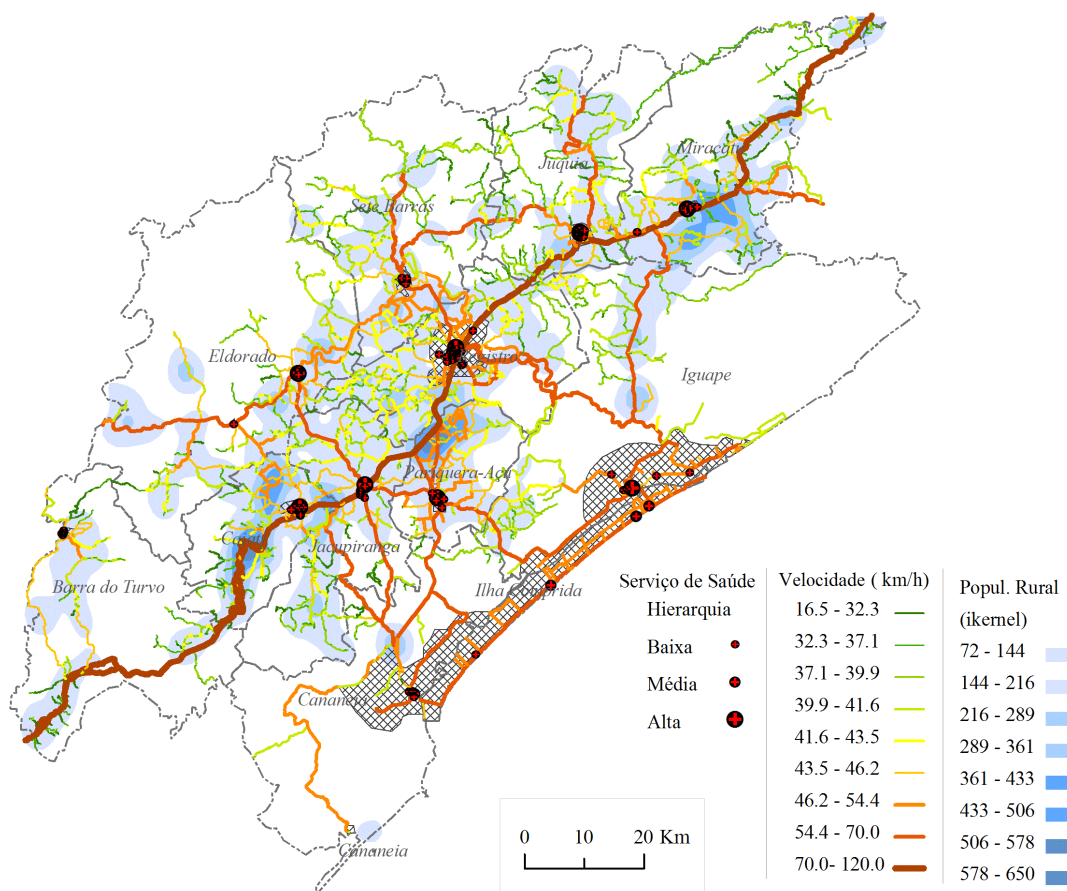
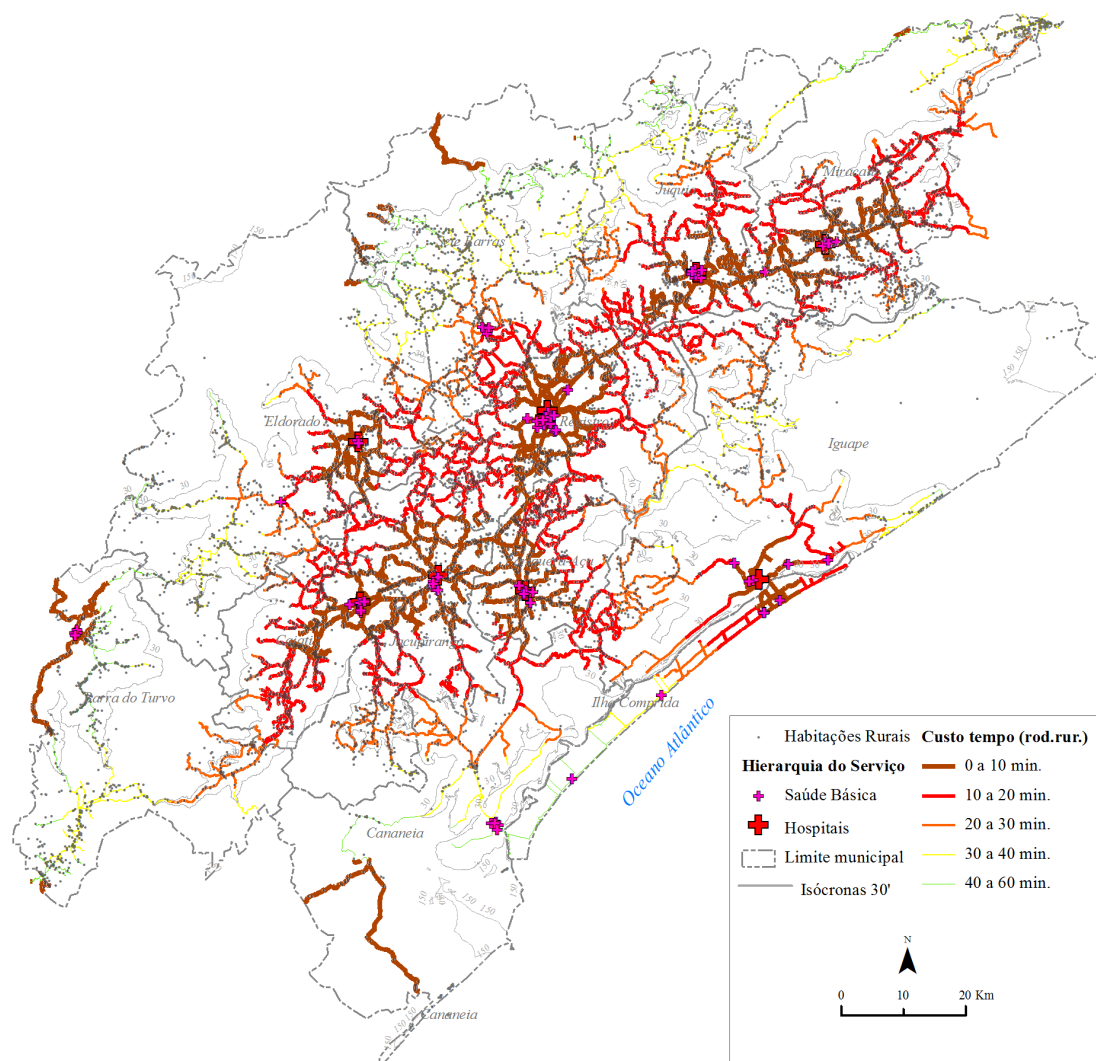


Figura 7

Tempo de viagem aos serviços de saúde na microrregião de Registro/SP (Ferreira, 2011, p. 164)



## Referências

- ARCURY, T. A.; PREISSER, J. S.; GESLER, WILBERT M.; POWERS, J. M. Access to Transportation and Health Care Utilization in a Rural Region. *The Journal of Rural Health*, v. 21, n. 1, p. 31-38, 2005.
- BAGHERI, N.; BENWELL, G. L.; HOLT, A. Measuring Spatial Accessibility to Primary Health Care. In: ANNUAL COLLOQUIUM OF THE SPATIAL INFORMATION RESEARCH CENTRE UNIVERSITY OF OTAGO, 17., Dunedin, Nova Zelândia, 24-25 nov. 2005.
- BENTHAM, G.; HAYNES, R. Health, Personal Mobility and the Use of Health Services in Rural Norfolk. *Journal of Rural Studies*, v. 1, n. 3, p. 231-239, 1985.

- BLACK, M.; EBENER, S.; AGUILAR, P.N.; VIDAURRE, M.; EL MORJANI, Z. Using GIS to Measure Physical Accessibility to Health Care. *International Health Users Conference*, Washington DC, 2004.
- BOSANAC, E. M.; PARKINSON, R. C.; HALL, D. S. Geographic Access to Hospital Care: A 30-Minute Travel Time Standard. *Medical Care*, v. XIV, n. 7, p. 616-624, 1976.
- BRABYN, L.; BARNETT, R. Population Need and Geographical Access to General Practitioners in Rural New Zealand. *The New Zealand Medical Journal*, v. 117, n. 1199, aug. 2004. Disponível em: <<http://www.nzma.org.nz/journal/117-1199/996/>>. Acesso em: 2 fev. 2009.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. Departamento de Descentralização da Gestão da Assistência. *Regionalização da assistência à saúde: aprofundando a descentralização com equidade no acesso: Norma Operacional de Assistência à Saúde: NOAS-SUS 01/02*. 2. ed. Brasília, 2002.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual\\_de\\_projeto\\_geometrico.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_projeto_geometrico.pdf)>. Acesso em: 9 out. 2010.
- FERREIRA, R. V. *Mapeamento de redes em SIG: proposta de otimização do tempo de viagem da população rural aos serviços de saúde*. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-28052012-093407/pt-br.php>>. Acesso: 15 fev. 2013.
- HAGGETT, P.; CHORLEY, R. *Network Analysis in Geography*. London: Arnold, 1969.
- HANSEN, W. G. How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, v. 25, n. 2, p. 73-76, 1959.
- HIGGS, G.; WHITE, D. Changes in Service Provision in Rural Areas. Part I: The Use of GIS in Analyzing Accessibility to Services in Rural Deprivation Research. *Journal of Rural Studies*, v. 13, n. 4, p. 441-450, 1997.
- TEIXEIRA, A. L. A.; CHRISTOFOLETTI, A. Sistemas de informação geográfica. *Dicionário Ilustrado*. São Paulo: Hucitec, 1997.
- INGRAM, D. R. The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form. *Regional Studies*, v. 5, n. 2, p. 101-107, 1971.
- MARTIN, D.; WRIGLEY, H.; BARNETT, S.; RODERICK, P. Increasing the Sophistication of Access Measurement in a Rural Healthcare Study. *Health & Place*, v. 8, p. 3-13, 2002.
- NEMET, G. F. O.; BAILEY, A. J. Distance and Health Care Utilization Among the Rural Elderly. *Social Science & Medicine*, v. 50, p. 1197-1208, 2000.
- ODA, S. *Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.



- SHANNON, G. W.; BASHSHUR, R. L.; METZNER, C. A.: The Concept of Distance as a Factor in Accessibility of Health Care. *Med. Care Rev.*, v. 26, n. 143, 1969.
- THOUÉZ, J. M.; BODSON, P.; JOSEPH, A. E. Some Methods for Measuring the Geographic Accessibility of Medical Services in Rural Regions. *Medical Care*, v. 26, n. 1, p. 34-44, jan. 1988.
- UNGLERTI, C. V. S.; ROSENBURGI, C. P.; JUNQUEIRA, C. B. Acesso aos serviços de saúde: uma abordagem de geografia em saúde pública. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 21, n. 5, out. 1987.
- VICKERMAN, R. W. Accessibility, attraction, and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility. *Environment and Planning A*, v. 6, n. 6, p. 675-691, 1974.
- WITTHUHN, B. O. Distance: An Extraordinary Spatial Concept. *Journal of Geography*, v. 78, n. 5, p. 177-181, 1979.