

ESTIMATIVAS NEURAIAS DE VOLUMES DE TRÁFEGO BASEADAS NA MORFOLOGIA URBANA PARA A CIDADE DE FORTALEZA-CE

Antonio Wagner Lopes Jales
Carlos Augusto Uchôa da Silva
Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

RESUMO

Nesta pesquisa discute-se o desenvolvimento de um método, baseado em Redes Neurais Artificiais (RNAs), dedicado à geração de estimativas de VMD's (Volumes Médios Diários) para o município de Fortaleza-Ce, a partir de variáveis que representam a morfologia urbana, geradas usando a Sintaxe Espacial. A metodologia proposta reduz o tempo e os custos da coleta de dados de campo (pesquisas de tráfego) mas apresenta limitações nos resultados se comparado aos métodos tradicionais de modelagem da demanda. Adicionalmente, foram usadas técnicas de Geoprocessamento no cruzamento de informações topológicas da malha viária com contagens de tráfego. Ao final confirmou-se que apenas a morfologia não foi suficiente para explicar o fenômeno de tráfego.

ABSTRACT

This paper discusses regarding the development of a method using Artificial Neural Networks to estimate Volume Traffic Flows in Fortaleza City from Space Syntax indicators. This technique measures the urban morphology. The proposed method decreases time and costs in urban data collection but, comparing the results with traditional methods, it showed limitations. It were used the GIS technique crossing topological data of urban design with traffics counts. In the end, it was confirmed that only the urban morphology it was not sufficient to explain the traffic phenomenon.

1. INTRODUÇÃO

Muitos são os fatores que dificultam o planejamento do tráfego das cidades brasileiras. A capital do Ceará é segundo o IBGE, 2010, a quinta maior cidade do país e sofre com a *“inexistência de dados de volume de tráfego na maioria dos trechos da malha principal de Fortaleza”* (VIANA *et al*, 2007) bem como com o crescente aumento da frota de veículos. Os órgãos públicos responsáveis pelo tráfego urbano precisam de um diagnóstico da realidade, mas com frequência não dispõem de recursos financeiros, que em muitos municípios são escassos.

HILIER *et al*, (1993) afirmam que *“a configuração do espaço exerce influência nos movimentos na malha urbana independente dos atratores que nela existam”*, e desenvolveram um método chamado de *Sintaxe Espacial* para medir a configuração do espaço. A possibilidade de usar tal método para estimar volumes de tráfego, que exija uma menor quantidade de dados coletados em campo e conseqüentemente com custo financeiro menor que o método tradicional, fornecendo resultados similares ou aproximados, torna a modelagem da demanda ainda mais acessível à gestão pública.

A calibração do modelo de alocação de tráfego, utilizado pelo órgão responsável em Fortaleza, se baseia no modelo UTMS, tal processo de modelagem é descrito detalhadamente no artigo de VIANA *et al* (2007). Esse modelo vem sendo usado tradicionalmente desde os anos 1960 *“que é representado como uma sequência de quatro sub-modelos: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego”* (VIANA *et al*, 2007) e sua utilização depende da existência dos dados como; Matriz O-D (fluxos em veículos/hora); Rede viária com enumeração

de nós e *links*; Comprimento de cada *link*, em km; Classificação funcional de cada via; Número de Faixas de Tráfego; Direção de Fluxos; Tempo de viagem, em minutos; Capacidade nos *links* e Penalidades dos nós.

Para utilização do modelo de alocação citado, faz-se necessária uma matriz de fluxos indicando a quantidade de viagens entre pares de origem / destino. Numa rede que representa a malha viária com seus atributos e critérios a serem considerados para escolha das rotas, “os fluxos para cada par de O/D são carregados na rede baseados no tempo de viagem ou na impedância das rotas alternativas que poderiam transportar este tráfego” (LOPES FILHO, 2005).

Independente dos desejos de viagens, do grau de clareza que os usuários têm de todas as possíveis rotas na malha viária ou dos critérios de restrições de capacidade adotados para identificação das menores distâncias (distância em tempo de percurso e/ou espaço percorrido) as perguntas básicas dos usuários são sempre as mesmas. Qual o caminho mais curto? Que vias utilizar? Por onde se deve ir para sair da origem A e chegar ao destino B? O que se observa são expectativas feitas ao espaço que se percorre, ou seja, a própria malha viária.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho aqui proposto foi o desenvolvimento de um método eficaz, rápido e de baixo custo para geração de estimativas dos Volumes Médios Diários (VMD's) em todos os links da malha viária do município de Fortaleza que possa auxiliar no processo de planejamento do tráfego da cidade a partir dos conceitos da Sintaxe Espacial e como técnicas de modelagem, o Geoprocessamento e as Redes Neurais Artificiais.

3. SINTAXE ESPACIAL-SE

A Sintaxe Espacial originou-se da “Teoria dos Grafos” nos anos 70 através dos estudos de Bill Hillier e Adrian Leaman, na Bartlett School, Universidade de Londres, mas foi apenas com a publicação do livro “*The Social Logic of Space*” em 1984, que esta ferramenta pode ser definida como “*um conjunto de técnicas de análise configuracional de espaços enfatizando os encontros de pessoas em espaços arquitetônicos – cidades e edificações*” (BARROS, 2006).

Representando a malha urbana através de um grafo (Figura 1), onde as ruas correspondem aos nós e os cruzamentos são representados pelas arestas, é possível então criar uma hierarquia viária através de medidas topológicas. As medidas topológicas “*quantificam propriedades abstratas de natureza topológica. A maior parte dessas medidas já existia na teoria dos grafos e foi adaptada para o novo contexto*” (MEDEIROS, 2004). (Figura 2).

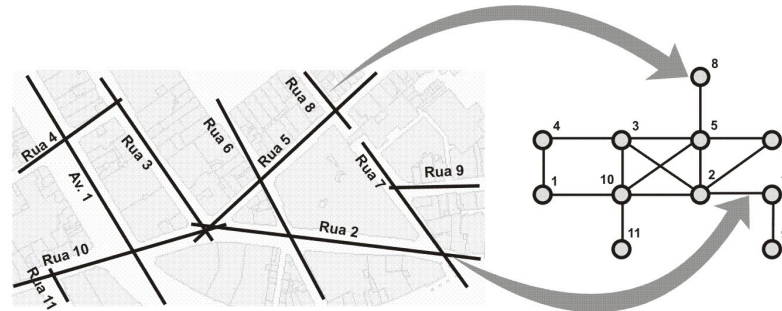


Figura 1: Representação em forma de grafo de um trecho de uma malha urbana onde os nós representam as vias e as arestas representam os cruzamentos. Fonte: JALES (2009).

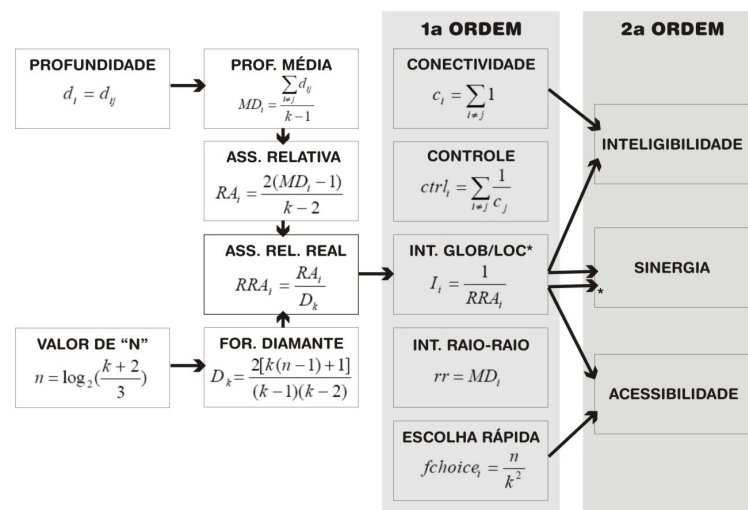


Figura 2: Resumo das relações entre as variáveis. Fonte: JALES (2009).

Após a divulgação da SE, em 1987, surgiram algumas derivações e, para o presente estudo, enfocou-se na Análise Angular (*Angular Analysis*) e em um desdobramento específico desta, chamado Análise Angular de Segmentos (*Angular Segments Analysis*), ou simplesmente, ASA (Figura 3). Tais derivações permitiram que a SE realizasse comparações melhores com a dinâmica dos fluxos urbanos tendo em vista que passou a reconhecer as mudanças angulares, a quebra das linhas axiais em segmentos e o surgimento de outras variáveis. TURNER (2005) testou a correlação de variáveis da Análise Angular de Segmentos com contagens e dados simulados pela modelagem tradicional.

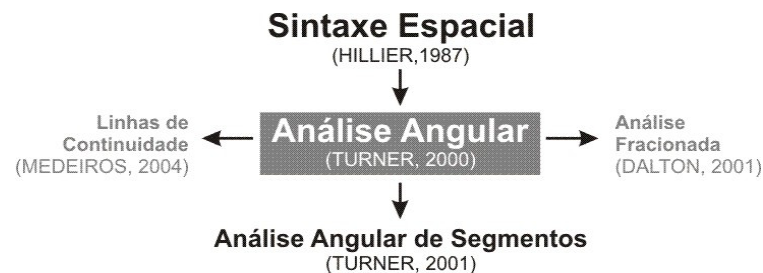


Figura 3: Derivações da Análise Angular. Fonte: JALES (2009).

3.1. A Sintaxe Espacial e o Tráfego

Para constatar a utilidade da SE na identificação dos padrões de viagens, HILIER *et al*, (1993) propõem que se gerem os valores sintáticos para cada via e que se faça um teste correlação dos mesmos com contagens de tráfego, seja de pedestres ou veículos. A variável de maior correlação é a que melhor representa os movimentos conforme exemplo da Tabela 1.

Tabela 1: R² das variáveis angulares com dados de tráfego

Variável Angular	Tráfego	
	Simulados	Contagens
Choice	0,79	0,79
Choice (ponderada)	0,81	0,81
Mean Depth	n/a	0,63
Mean Depth (ponderado)	n/a	0,64

Adaptado de TURNER (2005).

Partindo-se da hipótese de que a tentativa de utilização de modelos regressivos para modelar tráfego a partir de variáveis de SE falhou por considerar que variáveis explicadas e explicativas precisam ter relações lineares, optou-se pela utilização de técnicas que se adéquam à modelagem de dados com comportamento não linear, como por exemplo, as Redes Neurais Artificiais.

4. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais, tratadas aqui apenas por redes neurais ou ainda RNAs, têm sua origem no final dos anos 1940, com a publicação do livro *The organization of behavior*, de Donald Hebb, “no qual uma teoria baseada no processo de aprendizagem que ocorre no cérebro humano serviu de base para a criação de modelos computacionais de sistemas adaptativos de aprendizagem” (REINKE, 2008). O nome “rede” se dá pelo fato de que unidades de processamento de dados não trabalham de forma isolada, e sim conectadas umas às outras, como uma cadeia de neurônios processando informações em paralelo.

5. MATERIAIS E MÉTODO

O resumo da metodologia utilizada nesta investigação segue de acordo com o fluxograma conforme Figura 4.

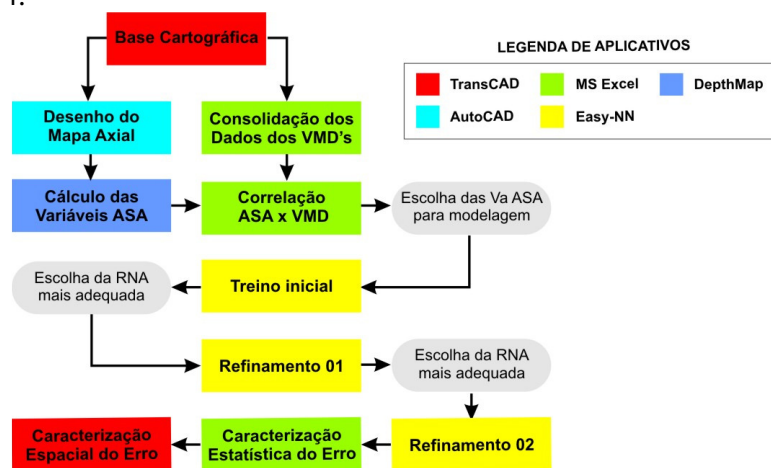


Figura 4: Fluxograma do método utilizado.

Fonte: JALES (2009)

5.1. Aquisição de Dados de contagens de tráfego

Optou-se por simular o Volume Médio Diário (VMD) de Veículos-Padrão, os dados utilizados foram obtidos junto à AMC (Autarquia Municipal de Trânsito de Fortaleza), fruto de contagens de tráfego realizadas em 2003, bem como a base cartográfica digital municipal georreferenciada ao sistema geodésico brasileiro, datum SAD-69. As contagens correspondem a 391 links da malha viária (amostral). O valor médio dos dados amostrais é de 12.935 (somando o volume nos dois sentidos do mesmo link) e os mesmos variam de 920 a 38.687.

5.2. Construção do Mapa Axial

O mapa axial foi desenvolvido a partir da base cartográfica, em formato CAD (DWG), da malha viária de Fortaleza-CE, utilizando método sugerido por MEDEIROS (2004).

5.3. Geração de Variáveis Sintáticas

Para geração das variáveis sintáticas utilizou-se o aplicativo UCL DepthMap versão 6.8, desenvolvido pela Bartlett School of Graduate Studies, UCL, London (www.vr.ucl.ac.uk), a partir do mapa axial que permitiu a realização da Análise de Angular de Segmentos (Angular Segments Analysis), deviação da SE considerada neste trabalho. Com o UCL DepthMap, gerou-se então 04 variáveis ASA: *Angular Mean Depth*, *Angular Node Count*, *Angular Total Depth* variando o Raio de 1 a 10 e de 10 a 100 (10 em 10) e na opção *Tulipa*, gerou-se a variável *Choice* variando o número de *bins* entre 4 e 40 assim foi possível avaliar os efeitos de variações angulares mais significativas (4 *bins* = 90°/*bin*, 8 *bins* = 45°/*bin*, 12 *bins* = 30°/*bin*, etc.). Para maior entendimento do conceito de *Tulipa* e *bins* consultar JALES (2009).

5.4. Tratamento Estatístico das Variáveis Sintáticas

Adotou-se nesta pesquisa, o coeficiente de correlação ou “r de Pearson” como indicador para detectar quais variáveis sintáticas tem maior relação linear com as contagens. Optou-se por somar o volume coletado nos dois sentidos de tráfego antes se calcular a correlação com as variáveis ASA, para tornar possível a comparação já que a Sintaxe Espacial só atribui um valor para cada *link* da malha.

Após calcular o coeficiente de correlação (“r” de Pearson) de todas as variáveis sintáticas geradas com os VMD’s conforme sugerido pela bibliografia observou-se que para a variável *Angular Mean Depth* o raio que apresentou maior correlação foi R5 sendo igual -0,299; para *Angular Node Count* o maior resultado foi 0,307 para R2; *Angular Total Depth* igual a 0,312 para R2 (Figura 5).

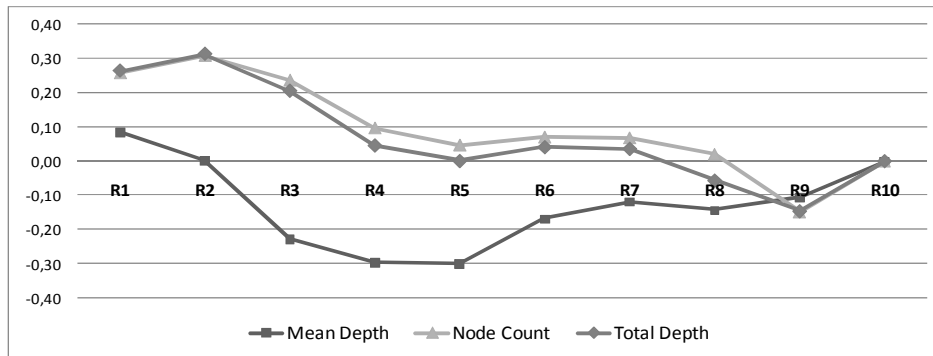


Figura 5: Curva das correlações entre os VMD's e as Variáveis sintáticas geradas pela opção *Full Angular* (variando de raio de 01 a 10). Fonte: JALES (2009)

O que pode ser interpretado em relação à variável *Total Depth* é que os *links* com maiores valores para *R1* (Figura 6) encontram-se na região dos bairros Meireles, Aldeota, Dionísio Torres e Joaquim Távora. Isso ocorre, pois nessa região, a malha viária é mais ortogonal e qualquer mudança de sentido na trajetória é igual ou próximo a 90°, o que não ocorre em toda a cidade.

Quando se calcula a mesma variável com *R2* (Figura 7), restringem-se o número de vias que se destacam, as mesmas encontram-se entre a Av. Barão de Studart e Av. Des. Moreira no sentido Norte-Sul e nos dois casos destacam-se também os *links* da Rua Antonio Pompeu/Pe. Valdevino e Av. Santos Dumont no sentido Leste-Oeste.

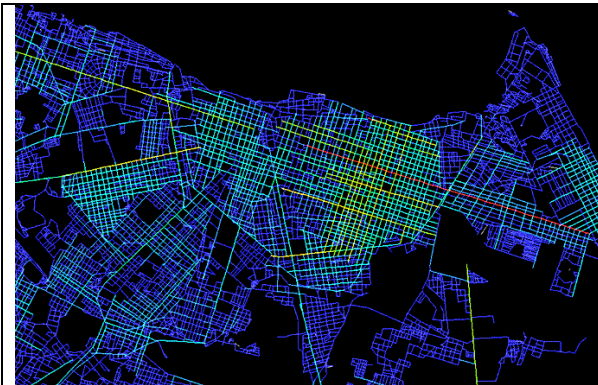


Figura 6: Mapa Sintático de Fortaleza, *Angular Total Depth R1*. Fonte: JALES (2009)

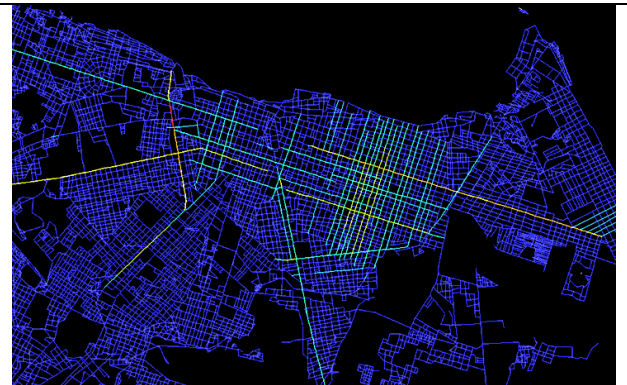


Figura 7: Mapa Sintático de Fortaleza, *Angular Total Depth R2*. Fonte: JALES (2009)

À medida que se aumenta o raio, os maiores valores para tal variável migram para o lado Oeste da cidade, na direção dos bairros Centro, Benfica, Parque Araxá, Monte Castelo, etc., onde a malha é mais contínua e não existem limitações naturais como o Parque do Cocó e Salinas.

Ao se analisar as correlações entre as variações calculadas para variável *Choice Rn*, na opção *Tulipa* e a soma dos VMD, a variação calculada considerando 16 bins (22,5°) obteve maior valor sendo o mesmo igual a 0,365 (Figura 8). Por se tratar de uma variável que identifica os links mais utilizados para percorrer todas as possibilidades de menores percursos angulares entre todos os

pares de *links* existentes na cidade (no caso, raio “n”), o seu cálculo destaca alguns dos principais eixos viários de Fortaleza que ligam o limite leste, sul e oeste ao centro da cidade vias estas que são classificadas como “arteriais” segundo a LUOS 1996.

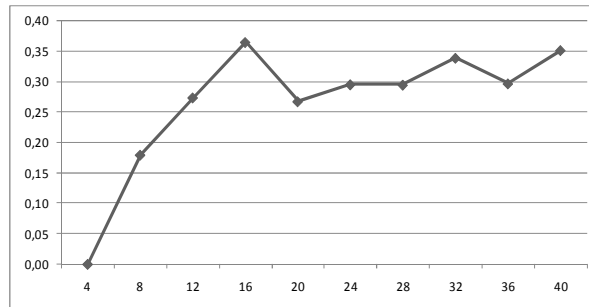


Figura 8: Correlações entre VMD e as variações geradas para *Choice Rn*, de 4 a 40 bins.
Fonte: JALES (2009).

Mais uma vez observam-se na região do Centro/Aldeota as avenidas: Santos Dumont, Desembargador Moreira, Duque de Caxias como as vias “mais escolhidas” por todas as possíveis rotas entre todos os pares de segmentos da malha estudada (Figura 9).

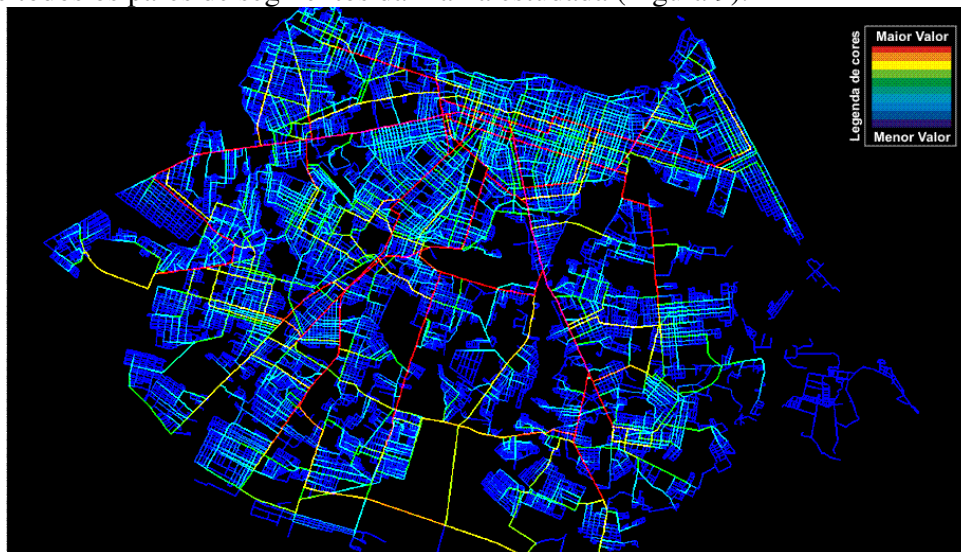


Figura 9: Mapa Sintático de Fortaleza, toda a cidade, *Choice Rn*, 16 bins.
Fonte: JALES (2009).

Testando as correlações entre os VMD e a variável *Choice*, gerada variando-se o número de raio de 1 a 10 e o número de *bins* de 4 a 40, observou-se que os valores do coeficiente de correlação encontrados não são superiores a 0,2, onde os maiores valores de correlação encontrados são raio 10 (0,135) e para o *bim* 12 (0,129). Para entendimento de “raio”, consultar JALES (2009).

5.5. Construção da Árvore de Testes com RNAs

Utilizou-se o aplicativo EasyNN-Plus versão 9.0d, desenvolvido e comercializado por Stephen Wolstenholme (Inglaterra) para treinamento de RNA. Esse aplicativo utiliza redes do tipo

Multilayer Perceptron (MLP) como topologia e permite utilizar até três camadas intermediárias. O algoritmo de aprendizado usado foi do tipo *backpropagation* e utilizou-se a função de ativação sigmóide logística. As variáveis utilizadas para o treinamento (aprendizado supervisionado) estão descritas na Figura 10.

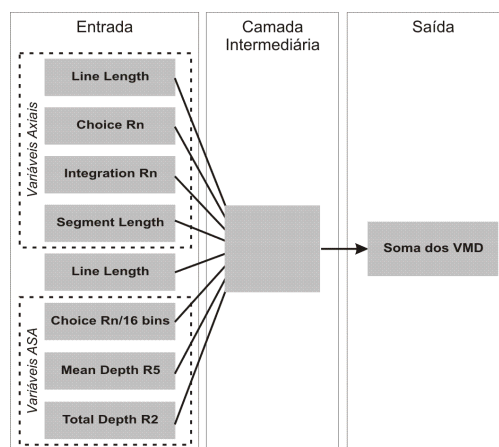


Figura 10: Esquema de variáveis de entrada e saída da árvore de testes.
Fonte: JALES (2009).

Utilizou-se o procedimento conhecido como “validação cruzada” conforme indicado em HAYKIN (2005), onde separou-se o conjunto total de dados existentes em 03 sub-conjuntos: O primeiro para *Treinamento* (80% dos dados), o segundo para *Teste* (10%) e o terceiro para *Validação* (10%).

Como as possibilidades de agrupamentos são quase infinitas, elaborou-se uma Árvore de testes com 03 seleções diferentes e para cada seleção, construiu-se 02 esquemas (ou topologias) diferentes, uma com camada oculta de $(2i+1)$ neurônios, onde i é o número de variáveis de entrada” e a segunda com $s(i+1)$ neurônios, onde s é o número de neurônios de saída e i o número de neurônios de entrada.

5.6. Seleção da Topologia mais Adequada

Para se avaliar o desempenho das diferentes topologias da árvore de testes, usou-se como indicador o Erro Relativo Médio (ERM) em módulo, que foi calculado comparando-se os valores encontrados (valores de VMDs), estimados por cada topologia e os 10% de dados reservados para a etapa de teste, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos ERM gerados pelas diferentes topologias.

		S1	S2	S3
E1	Erro Relativo Máximo	0,965	2,342	4,615
	Erro Relativo Médio	0,362	0,647	0,406
	Erro Relativo Mínimo	0,034	0,027	0,002
E2	Erro Relativo Máximo	3,265	2,638	4,885
	Erro Relativo Médio	0,444	0,599	0,602
	Erro Relativo Mínimo	0,013	0,010	0,010

5.7. Refinamento da Topologia neural escolhida

Com a definição da topologia mais adequada, seu refinamento foi realizado em duas etapas: na primeira foram realizados novos treinamentos com variações dos parâmetros termo *Momentum* e taxa de aprendizagem onde ambos variaram de 0.1 a 0.9, mantendo o mesmo número de ciclos. Novamente foram calculados ERM para cada topologia um total de 18 topologias.

De acordo com os resultados obtidos com a primeira fase do refinamento, a segunda etapa foi executada considerando-se a topologia com taxa de aprendizagem igual a 0,3 e *Momentum* igual a 0,5. Realizou-se então, novas rodadas de treinamento variando o número de ciclos (Figura 11). O treinamento até 500 mil ciclos reduziu o ERM de 0,365 (Treino inicial) para 0,266 e para os demais números de ciclos não gerou melhoria significativa.

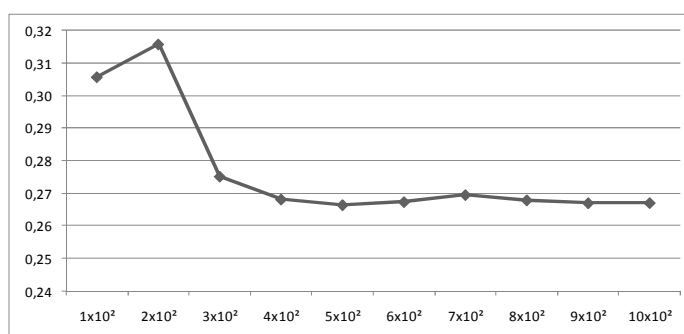


Figura 11: Refinamento 02 - ERM em função da variação do número de ciclos. (Fonte: JALES, 2009)

5.8. Caracterização do erro obtido

Observa-se que a topologia adotada foi capaz de simular valores com até 10% de erro para mais ou para menos em aproximadamente 40% dos dados de teste. Ou seja, quase metade dos dados a serem simulados pela RNA podem gerar erros, que apesar de percentualmente baixos, podem influenciar uma tomada de decisão incorreta. Por exemplo, se for considerado um *link* que possui valor de carregamento igual a 30.000, um erro para mais seria superestimar o VMD em até 3.000 veículos.

Analisando-se especialmente o erro relativo (Figura 12), observa-se que os maiores erros encontram-se na Av. Desembargador Moreira, que é classificada com via arterial, próximo a Rua Ana Bilhar, Av Barão de Studart próximo a Av. Costa Barros e Av. Santos Dumont, próximo a Rua Osvaldo Cruz.

O maior erro relativo encontrado está na área norte da Av. Desembargador Moreira, pois, topologicamente o trecho em questão é mais isolado se comparado aos trechos da mesma avenida que se encontram mais ao Sul. É provável que na área em questão existam também pólos atratores/geradores de viagens que tornam o trecho mais relevante do ponto de vista operacional.



Figura 12: Posição do Erro Relativo no mapa de Fortaleza.
Fonte: JALES (2009)

6. DISCUSSÕES

A afirmação de HILIER *et al* (1993) de que a configuração da malha viária influencia nos movimentos é coerente, mas por si só não os explica pois não reconhece as áreas que demandam e ofertam viagens e por conseguinte, os desejos de viagens dos usuários. Afirmar que a configuração da malha influencia na localização dos “atratores” também não deixa de ser uma verdade, mas não é o único fator que influencia na localização dos diversos tipos de usos do solo.

Para que a morfologia urbana fosse suficiente para permitir explicar sozinha o carregamento viário em qualquer tipo de malha viária, seria necessário que: a) Todos os usuários tivessem perfeito conhecimento da malha; b) Todos optassem por rotas com menor distância angular possível; d) Todos os links demandassem e ofertassem o mesmo número de viagens para todos os demais links; e) Todos os usuários da malha agissem de forma cooperativa.

Atendendo às condições citadas anteriormente, a alocação de tráfego através da SE, poderia sim ser comparada a alocação tradicional do tipo *wardrop* conforme identificado por CYBIS *et al* (1996) e a variável sintática que talvez melhor representasse os movimentos seria a *Angular Choice*. Conforme identificado pelas pesquisas da SE, a malha viária influencia até nos movimentos de quem não a conhece.

Cabe destacar que, quanto mais os usuários têm conhecimento da malha viária, mais a morfologia influenciará os movimentos havendo maior correlação entre valores sintáticos e volumes de usuários (VMD's), é por isso que a SE é mais adequada para áreas pequenas onde: a) É mais fácil a compreensão da malha e a identificação de todas as possíveis rotas e; b) O uso do solo é mais coerente com a hierarquia morfológica da malha.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseado na metodologia proposta e nos testes realizados, e em suas variações onde as variáveis explicativas, ou seja, os *inputs* da RNA, foram as variáveis sintáticas, não há indícios suficientes para aceitar-se a hipótese de que as variáveis sintáticas possam sozinhas estimar os Volumes Médios Diários, com um nível de erro aceitável. Nem que a modelagem através de RNAs, pelo menos com o conjunto de dados aqui utilizados, é a mais adequada para este fim.

O erro relativo encontrado no teste da topologia, considerada mais adequada, inviabiliza a utilização do método proposto para uma simulação confiável nas mesmas aqui condições demonstradas (ou seja, com um conjunto de dados similar aos utilizados, tanto na quantidade quanto na qualidade), pois em alguns casos, a simulação errou em até o dobro do valor observado.

Duas possíveis causas foram identificadas na aplicação da metodologia proposta que precisam de maior atenção e podem ter influenciado no resultado: A primeira é em relação à associação feita entre os *links* do mapa sintático e do mapa da AMC, associação foi feita visualmente o que pode ter levado a alguns erros; a segunda causa, diz respeito ao fato de que o mapa axial foi desenhado com base na realidade de Fortaleza do ano de 2007 e que os VMD coletados representam a realidade de 2003 (quatro anos antes).

A primeira situação ocorreu, pois na base cartográfica da PMF, existem alguns links que são compostos por duas entidades gráficas e apenas uma delas recebe atributo operacional, enquanto que no mapa axial isso não ocorre. Recomenda-se que os mapas sejam os mesmos e que o problema identificado no mapa da prefeitura seja corrigido.

Na segunda situação, teoricamente haveria mais links em 2007 que 2003 e isso poderia alterar a hierarquia morfológica das vias. A associação de dados operacionais de 2003 com dados sintáticos de 2007 não seria correta. A questão é que Fortaleza possui atualmente uma malha aproximada de 60 mil links e 3,6 mil km e não se acredita que de 2003 para 2007 tenha havido um significativo aumento da malha viária a ponto de alterar consideravelmente as propriedades morfológicas da malha comprometendo o resultado do experimento.

A SE também é mais adequada para prever os movimentos dos pedestres do que os movimentos dos veículos, pois, no modo a pé, percorre-se normalmente distâncias bem mais curtas, que aquelas percorridas por veículos, identificando-se de forma mais fácil, as menores rotas angulares sem precisar se limitar a restrições de sentido de fluxo da via, velocidade média, e outros.

Recomenda-se que sejam vinculadas aos *links* da malha viária, as informações georreferenciadas contidas no diagnóstico de Fortaleza-CE feito pela Prefeitura Municipal durante a elaboração do Plano Diretor Participativo em Junho de 2006 (tipos de uso, densidade, etc.), tais dados serviriam como entradas para o treinamento das RNA, onde acredita-se que os resultados seriam significativamente melhores. Como tais informações já estão em formato de mapa digital, só seria necessário um esforço computacional de vinculá-las aos *links* sem precisar da realização de pesquisas de campo, deslocamento, vários pesquisadores, tabulação dos dados, etc.

AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho agradecem a FUNCAP pelas bolsas concedidas ao aluno de mestrado envolvido nesse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, A. P. B. G. (2006) Estudo exploratório da sintaxe espacial como ferramenta de alocação de tráfego. Msc. thesis, Mestrado em Transportes, Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2006.
- BOCANEGRA, C. W. R. (2002) Procedimentos para tornar mais efetivo o uso de Redes Neurais Artificiais em planejamento de transportes. Dissertação de Mestrado. USP-São Carlos, Departamento de Engenharia de Transportes. São Carlos-SP, 2002.
- CYBIS, H. B. B., TURKIENICZ, B., SCLOVSKY, L. e LINDAL, A. (1996) Análise comparativa entre modelos configuracionais e de alocação de táfégo. Anais do X Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. Brasília-DF, 1996.
- DA SILVA, C. A. U. (2003) *Um método para estimar observáveis GPS usando Redes Neurais Artificiais*. Tese de doutorado. USP-São Carlos, Departamento de Engenharia de Transportes. São Carlos-SP, 2003.
- HAYKIN (2001) Neural Networks, A Comprehensive Foundation. Second Edition, Pearson Education, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
- JALES, A. W. L. (2009), Estimação de Volumes de Tráfego com base na Morfologia Urbana. Estudo de caso: Cidade de Fortaleza-CE. Fortaleza, 2009. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2009.
- HILLIER, B. PENN A., HANSON J., GRAJEWSKI T. e XU, J. (1993) Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. Environment and Planning, Londres, Pion Publication.
- HILLIER, B., BURDETT, R., PEPONIS, J. e PENN, A. (1987) Creating life: or does architecture determine anything? Arch. & Comport./Arch., v. 3, n. 3, p. 233-250.
- HILLIER, B., HANSON, J. (2001) The social logic of the space. CUP, London.
- LOPES FILHO, J. I. de O. (2003) Pós-Avaliação da Previsão de Demanda por Transportes no Município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- LUOS (1996), Lei 7987/1997. Lei de Uso e Ocupação do Solo Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza-CE, 1996.
- MEDEIROS, L. F. (2004a) Linhas de continuidade no sistema axial. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Urbano, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, UFPE, Recife, 2004.
- REINKE, M. (2008) *Utilização de Redes Neurais Artificiais aplicadas a mapeamentos hidrogeológicos*. Dissertação de Mestrado. UNISINOS, Pós-Graduação em Geologia, Meio Ambiente e Recursos Naturais. São Leopoldo – RS.
- TURNER, A. (2005) Could A Road-centre Line be an Axial Line in Disguise? University College London, UK, 2005.
- VIANA F. R., PAULA, S., ROSADO E SOUSA, D. D. M. (2007) Obtenção de volumes de tráfego na malha principal de Fortaleza a partir da calibração e validação de um modelo de alocação de tráfego. ANTP - Anais do 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, outubro de 2007, Maceió-AL.