

SINTAXE ESPACIAL COMO FERRAMENTA DE DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS DE HIERARQUIA VIÁRIA

Ana Paula Borba Gonçalves Barros¹

Universidade de Brasília
Mestrado em Transportes - ENC

Valério Augusto Soares de Medeiros²

Universidade de Brasília
Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - FAU

Antonio Paulo de Holanda Cavalcante³

Universidade de Brasília
Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - FAU

Paulo Cesar Marques da Silva⁴

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia - ENC

Frederico Rosa Borges de Holanda⁵

Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

RESUMO

O presente artigo visa explorar a Sintaxe Espacial como ferramenta de definição de parâmetros de hierarquia viária e, havendo possibilidades de uso, para a definição de velocidades máximas permitidas. Um dos conceitos mais utilizados da Sintaxe Espacial é a integração, que traduz o potencial de geração de fluxos nos eixos viários, e que é o foco deste artigo. Para se realizar uma análise comparativa são utilizadas as diretrizes básicas para a regulamentação das velocidades permitidas nas vias urbanas e os resultados das análises dos mapas do Plano Piloto de Brasília no intuito de verificar as possibilidades de uso da Sintaxe Espacial para as definições de velocidades. Os primeiros achados indicam que algumas das linhas axiais mais importantes correspondem àquelas vias de maiores velocidades, embora em alguns casos a correlação não seja válida. É possível inferir, portanto, que a Sintaxe Espacial parece desempenhar um relevante papel na definição da hierarquia viária, não como uma ferramenta de definição da velocidade.

ABSTRACT

This paper aims to explore the Space Syntax as a tool to define parameters of road hierarchy and, if this use is found possible, to define maximum speeds allowed. One of the most used concepts of Space Syntax is the integration, which represents the potential flow generation in the road axes and is the focus of this paper. In order to perform a comparative analysis, the basic guidelines to regulate speeds in the urban streets and the results of analyses of the maps of the so called Pilot Plan of Brasilia are used to verify the possibilities of use of Space Syntax to define speeds. First findings indicate that some important axial lines correspond to those roads of higher speed limits, however in some cases correlation is not valid. Therefore, it is possible to infer that Space Syntax seems to play a relevant role in defining road hierarchy, but not directly as a speed definition tool.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o aumento desordenado do número de veículos nos centros urbanos e a falta de planejamento de transportes, sérios problemas são causados ao tráfego como, por exemplo, os congestionamentos. Estudos são realizados há décadas com o objetivo de amenizar e reverter tal questão. Nesse intuito, algumas iniciativas são

desenvolvidas sobre velocidades máximas permitidas, a exemplo do Código de Trânsito Brasileiro – CTB (2001), ao determinar diretrizes básicas para regulamentação da velocidade máxima permitida tanto em vias rurais quanto urbanas, as últimas das quais são o foco desta pesquisa.

Para evitar que ocorram problemas no tráfego, seja de veículos, pedestres ou mesmo ciclistas, é imprescindível existir uma hierarquia viária nos espaços urbanos, tornando-os mais organizados e proporcionando um maior conforto para todos os que utilizam o sistema viário.

Em virtude de tal estrutura hierárquica, dentre as ferramentas existentes atualmente, a Sintaxe Espacial desponta como de promissora aplicação na engenharia de tráfego, por compatibilizar aspectos de hierarquia da malha viária com potenciais de geração de fluxos e movimentos nos eixos urbanos.

A Sintaxe Espacial – teoria desenvolvida por Hillier & Hanson (1984) – incorpora as relações topológicas dos espaços, considerando a forma da cidade e sua influência na disposição dos movimentos dentro dos espaços de circulação. O método de axialidade da teoria analisa as relações de acessibilidade à rede viária, por meio da *integração* do sistema, uma de suas variáveis explicativas em termos de *co-presença*, ou co-existência potencial do movimento de passagem de pedestres e veículos.

Diante do exposto, decidiu-se testar esta variável de Sintaxe Espacial, que vem sendo recorrentemente utilizada em outras áreas (arquitetura, urbanismo, economia, sociologia, arqueologia, etc.), como parâmetro de definição da hierarquia viária, no intuito de verificar sua eficácia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Hierarquia Viária

O sistema viário possui vias de diferentes fluxos, umas previstas para fluxos mais rápidos e outras previstas para fluxos mais lentos.

Os Planos Diretores prevêem que as vias de uma cidade devem possuir uma hierarquia funcional (*cf.* Estatuto da Cidade). Esta hierarquia possui denominações mediante sua função, tais como: as vias de fluxo mais lento do sistema são chamadas de vias *locais*; as vias que coletam o fluxo das locais para as arteriais são chamadas de *coletoras*; as vias que distribuem os fluxos são conhecidas como *arteriais*; e as vias de fluxo mais rápido chamam-se de vias *expressas*.

Para exemplificar a estruturação citada, são ilustrativas as vias do Plano Piloto de Brasília (DF) – objeto deste estudo – que podem ser visualizadas na tabela 1.

A classificação funcional viária corresponde à mobilidade do trânsito e acessibilidade permitidas. É constituída por três tipos de sistemas viários: Expressas e Arteriais; Coletoras; e Locais (CTB, 2001).

Em um sistema viário, quanto maior a acessibilidade de uma via, menor a sua fluidez (mobilidade) e quanto maior sua fluidez, menor sua acessibilidade (Figura 1). Significa dizer que, em vias com maior capacidade de geração de viagens (vias expressas e arteriais) seu acesso é facilitado, entretanto em determinados momentos do dia sua capacidade de dar vazão ao fluxo veicular é reduzida, o que diminui sua fluidez. E em vias com menor capacidade de geração de viagens (vias locais) seu acesso é reduzido, e, por isso, sua capacidade de dar vazão ao fluxo é muito maior.

Tabela 1 – Vias utilizadas para o estudo.

Tipo de Via	Vias do Plano Piloto
Expressas	Eixão
Arteriais	Via L2, W3 e L4
Coletoras	Vias das entrequadras – L1, W2.
Locais	Vias das quadras

A cidade é constituída por uma estrutura física, que necessita de conexões para realizar as ligações entre partes (bairros, municípios etc). Estas ligações, que são realizadas pelas vias ou eixos, podem se apresentar na escala local ou na escala global, ou seja, na escala de bairro ou na escala da cidade.

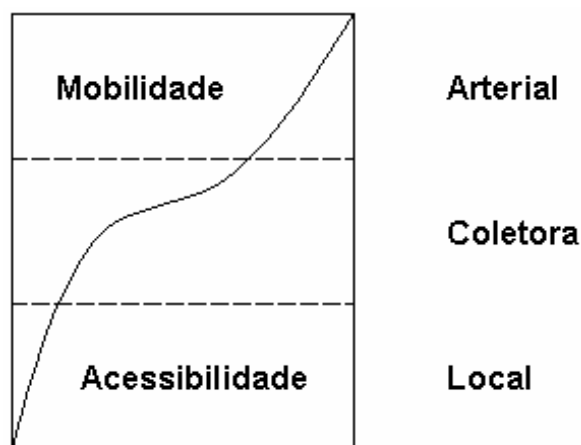


Figura 1: Gráfico de Mobilidade x Acessibilidade.

Fonte: ABNT (1976).

Estas conexões podem ser mensuradas, e existem estudos que estimam o potencial das conexões e acessibilidades, como a Sintaxe Espacial.

2.2. Sintaxe Espacial

O que aqui se denomina Sintaxe Espacial é uma abordagem teórica e metodológica, constituída por diversas técnicas de mensuração, que procura compreender como o espaço

construído, ou seja, a forma da cidade ou parte dela interfere nos padrões de movimentos por meio de suas relações de topologia e não apenas de geometria.

“Topologia é entendida como o estudo de relações espaciais que independem de forma e tamanho, [e sim da articulação interpartes]. Geometria, por outro lado, é a descrição direta dos elementos físicos componentes quanto às dimensões, proporções, escalas etc.” (Medeiros, 2003).

Significa dizer que são ponderados, no processo de análise topológica, a maneira como as partes – vias e espaço construído – se relacionam entre si e com o todo da malha e como estas distinções em termos de articulação interferem nas relações sociais desenvolvidas neste espaço – principalmente em relação aos fluxos e potenciais de geração de movimentos, quando tratado o espaço urbano.

A técnica da Sintaxe Espacial que será aqui adotada é a *axialidade*, que consiste em quatro etapas para a produção dos chamados mapas axiais, a saber:

a) Representação Linear do Espaço (Mapa Axial)

A partir de uma base cartográfica *raster* (foto aérea ou de satélite) *ou vetorial* (arquivo *.dwg, *.dgn, etc) da área em estudo, é traçado sobre o leito das vias o *menor número das maiores linhas retas*. Para esta etapa, devem-se utilizar programas de criação/edição que permitam a realização de desenhos e representações gráficas, como: ArcView®, AutoCad®, Microstation®, dentre outros.

b) Análise Informatizada da Representação (Cálculo da Matriz Matemática)

Após a construção do mapa, este é analisado por meio de programas especialmente desenvolvidos para a análise sintática do espaço (Axman®, Ovation® ou Orage Box® para computadores Macintosh®, e Spatialist®, Axwoman® ou MindWalk® para PCs) que calculam matematicamente, através de algoritmos de Sintaxe Espacial (Hillier & Hanson, op. cit.), os potenciais numéricos para cada eixo do sistema, considerando a conectividade da malha viária – o potencial de acessibilidade de cada linha. Isto é, apresentam o quão acessíveis são os segmentos considerando o sistema como um todo.

Dentre as variáveis de análise, tem-se a *conectividade*, a qual se assemelha, em engenharia de tráfego, à acessibilidade, que é a articulação física de uma via com outra, ou seja, o número de conexões que uma via possui ao estar “ligada” a outras.

Por outro lado, a forma de cálculo do valor de *integração*, se global (raio n – Rn) ou local (raio 3 – R3 ou superior, por exemplo), é o número de conversões que um usuário, no caso veículos e pessoas, executa a partir de uma dada linha (uma via de origem) para todas as outras linhas (outras vias de destino) em relação ao todo da malha, neste caso uma alocação de tráfego de n para n. Ao número de conversões dá-se o nome de *raio de integração*, da definição inicial de Hillier & Hanson (op. cit.). Este raio varia de 1 a n (total de linhas, no caso, vias da malha). O valor numérico de integração pode ser convertido para um escala cromática variando de cores quentes a frias, passando pelo vermelho, laranja, verde, azul

claro até o azul escuro ou uma outra opção seria a utilização de tons de cinza, onde o preto corresponde ao vermelho, o cinza muito escuro ao laranja, o cinza escuro ao verde e azul claro, e o cinza claro ao azul escuro. Quanto mais quente for a cor de um eixo ou mais escuro for o tom de cinza, mais integrado este será em relação ao sistema como um todo.

c) Correlações (Associação do Mapa Axial com outros dados)

Nesta etapa são correlacionados os índices matemáticos obtidos na etapa anterior, variáveis como *integração*, com variáveis diversas observadas (dados secundários) ou coletadas (dados primários) tais como uso do solo (densidade por uso), presença ou não de transporte coletivo (variável de calibração), movimentos de veículos e pedestres (volumes e/ou velocidades), dentre outros.

d) Simulações (Novos Mapas)

As simulações de cenários são realizadas a partir da construção de novos mapas axiais com a inserção ou retirada de eixos que permitam traduzir uma situação desejada. Exemplo seria a criação de eixos simulando um crescimento futuro de uma área; a partir destes, simulam-se as áreas ou eixos que seriam potencialmente *mais integrados ou com maior potencial de movimentos*, podendo agregar áreas comerciais e de serviços.

Sobre os procedimentos, importa destacar que alguns estudos têm demonstrado a forte correlação que existe entre os potenciais encontrados e aqueles mensurados na realidade em campo, como, por exemplo, correlação entre integração e uso do solo (Medeiros e Trigueiro, 2001) e outros, em termos de “magnetos” (Holanda, 2002).

Salienta-se, todavia, que como qualquer método e ferramenta, a Sintaxe Espacial e, nesta, os mapas axiais apresentam algumas limitações que evidenciam a necessidade do olhar direcionado do pesquisador ou técnico de forma a melhor aproveitar o instrumental. O pleno conhecimento e domínio do que se trabalha será fator preponderante para o sucesso das simulações que – ao que se percebe – é um campo promissor em estudos de transporte.

3. SISTEMATIZAÇÃO: PROPOSTA METODOLÓGICA

A hierarquia funcional do sistema viário se fundamenta na importância que as vias representam para o sistema viário como um todo. Esta importância pode ser associada ao de número de faixas de rolamento, ao posicionamento de vias ou ao potencial de acomodação de fluxos veiculares, por exemplo. A Sintaxe Espacial aborda esta capacidade de acomodação de fluxos, utilizando para parâmetro de investigação a localização e as conexões entre as vias no sistema viário. De acordo com a localização e a articulação – ou conexão – algumas vias tendem a desempenhar um papel mais importante como geradoras de tráfego, enquanto outras não. Este trabalho parte da suposição de que por meio da Sintaxe Espacial é possível estimar as características do fluxo veicular.

Deste modo, a metodologia proposta visa relacionar a hierarquia viária traduzida pelas cores contidas nos mapas axiais com as velocidades máximas permitidas, para a partir daí avaliar o potencial da Sintaxe Espacial na definição de parâmetros da hierarquia viária. Para

isto, o estudo da integração do sistema é realizado de duas maneiras: primeiramente analisando o Distrito Federal como um todo, e, posteriormente, analisando apenas o Plano Piloto. Para efeito de comparação, utilizaram-se os artigos 60 e 61 do CTB (2001) sobre características das vias urbanas.

4. ESTUDO DE CASO.

4.1. Caracterização da Área

A área em estudo é o Plano Piloto situado na cidade de Brasília que, por sua vez, se localiza no Distrito Federal (Figura 2). O sítio urbano, planejado conforme as orientações do pensamento modernista apresenta fortes características de segregação espacial resultado, ao que parece, do próprio caráter cívico e administrativo do lugar. A hierarquia viária do sistema de Brasília apresenta características bastante peculiares. A EPIA (Estrada Parque Indústria e Abastecimento – em cinza escuro com maior espessura) é uma via de trânsito rápido (expressa) e possui um fluxo veicular bastante significativo, tendo em vista ser o acesso principal para a cidade. Duas outras vias expressas (Eixo Monumental e Eixão Norte e Sul – em preto) separam praticamente a cidade em norte/sul e em leste/oeste, o que restringe, em grande medida, o acesso de pedestres entre as Asas (Figura 2). As Asas Norte e Sul, por sua vez, apresentam níveis de hierarquia viária bem definidos, na qual as vias arteriais são representadas pelas vias L2 e W3, as vias coletoras pelas vias das entrequadras, e, por fim, as vias locais representadas pelas vias das quadras.

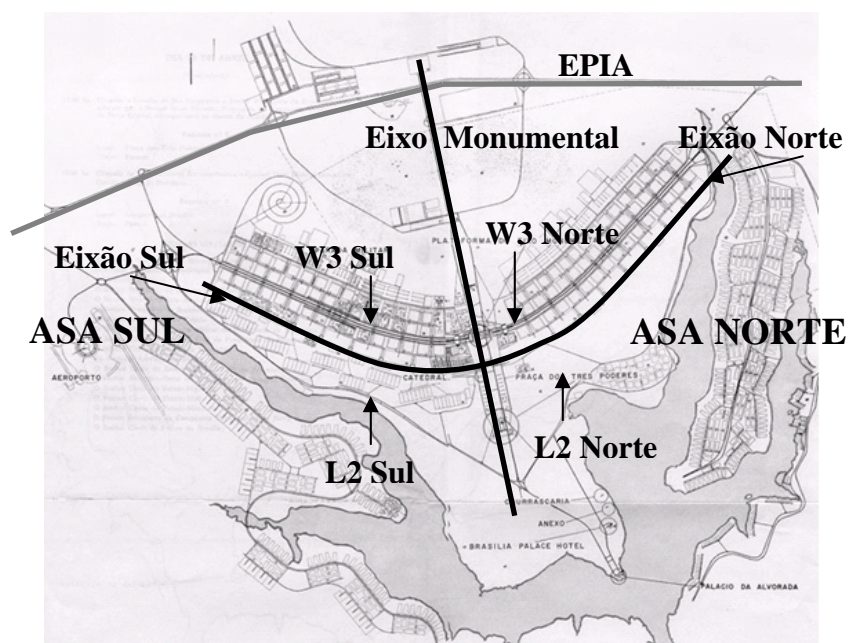


Figura 2: Mapa da cidade de Brasília.

Fonte: Peixoto (1960).

4.2. Aplicação da Metodologia

4.2.1. Análise da Integração do Sistema – Sintaxe Espacial

Ao analisar o Plano Piloto inserido no Distrito Federal, nota-se que é uma área excêntrica em relação ao Distrito Federal desde seu surgimento, como diz Holanda (2002), pois as cores predominantes são o cinza escuro (60%) e cinza claro (40%), o que traduz a pouca integração de Brasília (média) com o sistema viário global (Figura 3). A média de integração do sistema é de 0,623, com máximo de 1,062 e mínimo de 0,310.

A EPIA (Estrada Parque de Indústria e Abastecimento), a EPTG (Estrada Parque Taguatinga) e a via que passa pelo Setor Gráfico em preto (100%) nas (Figuras 4 e 5) são os eixos mais integradas do sistema (com valores de integração equivalentes a 1,0204; 0,9590 e 0,9146, respectivamente), visto que as viagens realizadas em direção ao Plano Piloto, na maioria das vezes, passam por elas.

O Eixo Monumental, por sua vez, apresenta três níveis de integração (Figura 5). O primeiro trecho – em preto (100%) – por se localizar às proximidades da EPIA (Estrada Parque Indústria e Abastecimento) concentra um fluxo veicular significativo que deve ser distribuído para o SMU (Setor Militar Urbano), Sudoeste e Cruzeiro, além das demais áreas do Plano Piloto (*valor de integração* 0,9605). O trecho seguinte – em cinza muito escuro (80%) – mostra a redução do fluxo veicular que se distribuiu no trecho seguinte, além de um fluxo que deve ser distribuído entre as Asas (*valor de integração* 0,8182). E o trecho final – em cinza claro (40%) – apresenta a pouca integração da Esplanada dos Ministérios com o sistema, uma vez que para acessar outras áreas da cidade, não necessariamente, precisa-se passar por ela (*valor de integração* 0,7488).

Ao analisar o Plano Piloto isoladamente, sem considerar as demais cidades do Distrito Federal, observa-se que a integração do sistema se altera. As vias mais integradas nesta situação são: o Eixo Monumental (*valor de integração* 1,1546, contra a média do sistema igual a 0,8191) e o Eixão Norte (*valor de integração* 1,2227, Figura 6). Diferentemente da análise anterior, na qual apenas uma parte do Eixo Monumental estava com alta integração.

A Asa Norte apresenta quatro níveis de integração, as vias internas das quadras (locais) – em cinza escuro (60%) e cinza claro (40%) – são as menos integradas do sistema, visto que para acessá-las necessita-se passar por um maior número de vias. As vias das entrequadras (coletoras) e as vias L2 e W3 (arteriais) – em cinza muito escuro (80%) – estão com uma integração relativamente boa em relação ao sistema (cinza muito escuro – 80%), uma vez que sua integração só é inferior às vias em preto (100%). A via correspondente ao Eixo Rodoviário (Eixão) – em preto (100%) – é a via mais integrada do sistema, o que significa afirmar que seu acesso é facilitado por não haver necessidade de passar por muitas outras para alcançá-la (Figura 7).

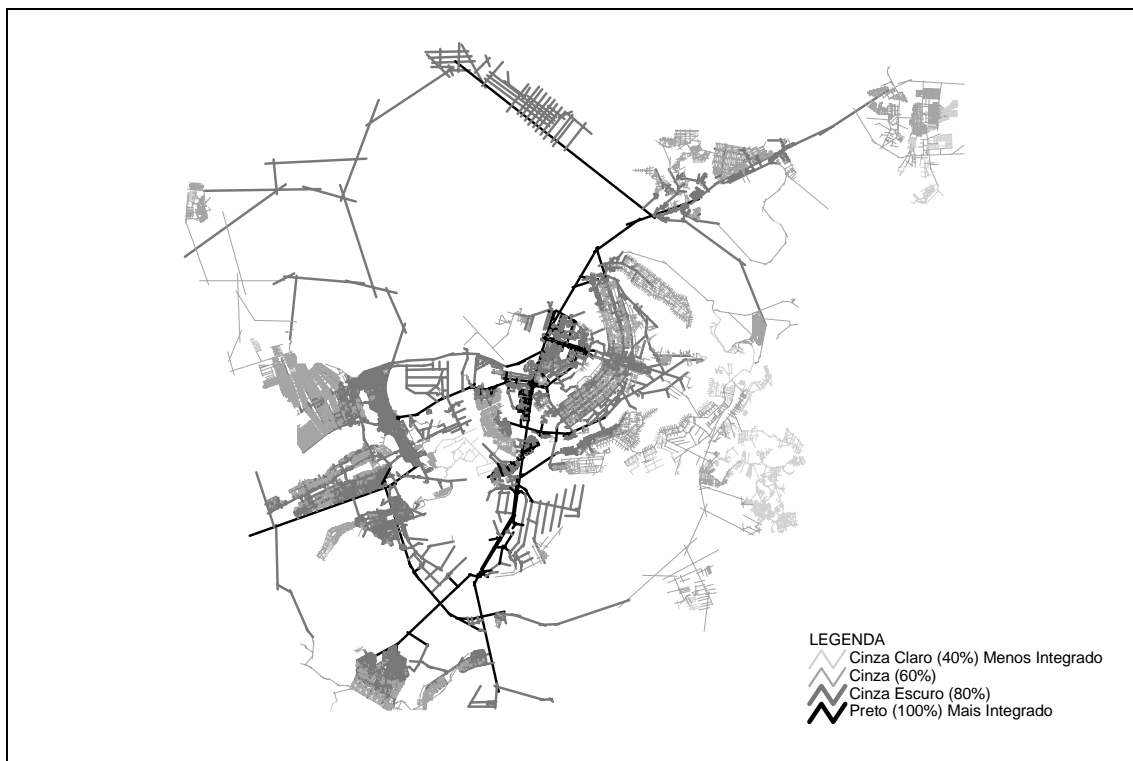


Figura 3: Mapa axial do Distrito Federal.



Figura 4: Integração da EPIA e do Setor Gráfico.

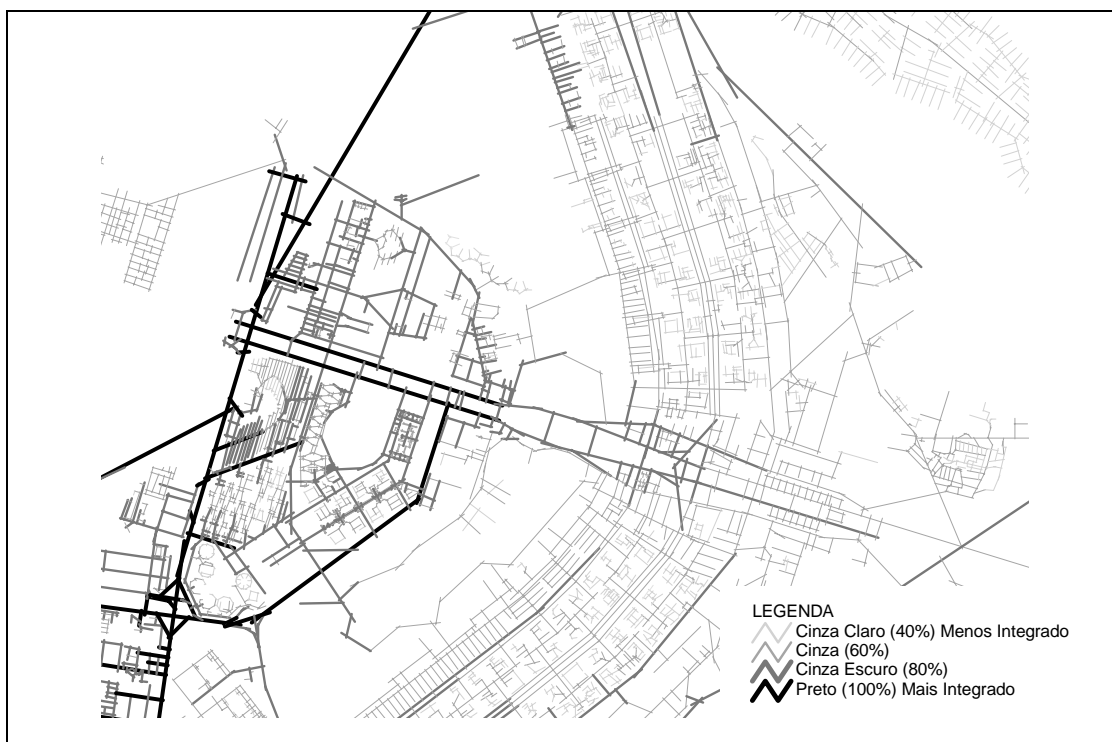


Figura 5: Níveis de Integração do Eixo Monumental.



Figura 6: Mapa Axial do Plano Piloto.



Figura 7: Asa Norte (4 níveis de integração).

4.2.1. Análise da Regulamentação da Velocidade Máxima Permitida em Vias Urbanas – CTB.

De acordo com os artigos 60 e 61 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB (2001) diz respeito às velocidades máximas permitidas em km/h de acordo com sua classificação viária (Tabela 2): as vias de trânsito rápido (expressas) devem possuir velocidade máxima de 80 km/h; as vias arteriais velocidades máxima de 60 km/h; as vias coletoras velocidade máxima de 40 km/h; e as vias locais devem ter velocidade máxima de 30 km/h.

Tabela 2: Velocidades Limites Apresentada pela CTB

Classificação Viária	Velocidade Máxima Permitida (km/h)
Vias de Trânsito Rápido	80
Vias Arteriais	60
Vias Coletoras	40
Vias Locais	30

Fonte: Adaptado de CTB (2001).

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nas análises da integração e nas diretrizes para regulamentação de velocidade máxima permitida – realizadas na seção anterior – fez-se uma comparação entre os dois estudos (Tabela 3).

De acordo com a tabela construída a partir da comparação dos dois estudos e com a figura 7, verifica-se o que valida os achados da sintaxe:

- As vias locais (30 km/h) – vias internas das quadras – estão pouco integradas ao sistema, nas cores cinza escuro (60%) e cinza claro (40%);
- As vias coletoras e arteriais (40 km/h a 60 km/h) – L1 (vias das entrequadras), L2, W3 e L4 – estão com uma integração relativamente boa com o sistema, na cor cinza muito escuro (80%); e por fim,
- As vias expressas (80 km/h) – Eixão Norte – estão mais integradas ao sistema, pois se apresentam em preto (100%).

Um detalhe observado (Figura 6) é o Eixão Norte, muito integrado ao sistema – em preto (100%), com *valor de integração* de 1,2227 – e o Eixão Sul, menos integrado ao primeiro – em cinza muito escuro (80%), com *valor de integração* 1,0564. Na realidade, não há diferença entre os papéis do Eixão Norte e do Eixão Sul na malha viária da cidade, o que demonstra que para a plena análise o pesquisador deve ponderar nos resultados aspectos diversos que possam interferir na potencialidade de um eixo em atrair ou não o movimento.

Tabela 3: Comparação dos Dados

Classificação Viária	Velocidade Máxima Permitida (km/h)	Cores - Integração com o sistema.	Via do Plano Piloto.
Vias de Trânsito Rápido	80	Preto	Eixão Norte
Vias Arteriais	60	Cinza Muito Escuro	Via L4
Vias Coletoras	40	Cinza Escuro	Vias L1, L2 e W3
Vias Locais	30	Cinza Claro	Vias Internas das Quadras

6. CONCLUSÃO

O mapa do Plano Piloto mostra que alguns eixos axiais correspondem às velocidades das vias, visto que em ambos os casos há uma estreita relação com a hierarquia viária do sistema. Entretanto em outros eixos não há uma correspondência exata, o que indica que a Sintaxe Espacial parece melhor atuar como uma ferramenta de definições de parâmetros de hierarquia viária, e não diretamente ser uma ferramenta de definição de velocidades.

Como já dito anteriormente, tal axialidade ilustra o quão um eixo (via) está mais ou menos integrado ao sistema como um todo; em outras palavras, qual a sua acessibilidade ou

permeabilidade em face do sistema. É necessário esclarecer, também, que sua integração depende de algumas variáveis como por quantas vias é necessário passar para se chegar a outra qualquer do sistema; em que locais situam-se as vias do sistema (próximos a Pólos Geradores de Viagens, etc); como é o desenho da malha viária urbana, dentre outras.

Sendo uma pesquisa exploratória que procurou aplicar a Sintaxe no estudo em Brasília, vale comentar que o sítio investigado apresenta características de desenho urbano bem peculiares em relação aos demais assentamentos urbanos usuais do Brasil.

As feições de um intenso planejamento urbano evidentes em Brasília podem exigir maior calibração nos resultados ou mesmo inviabilizá-los. Por isso, acredita-se ser necessário ampliar o escopo da pesquisa incorporando exemplos do que seriam as cidades tradicionais do país: aquelas que, historicamente, se associam a processos típicos de urbanização (metropolização, periferia, subúrbio), o que acirra as disputas por território e mobilidade nos espaços urbanos. Portanto, deve-se verificar a validade da ferramenta ampliando a base de dados e os exemplos explorados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1976). *NBR (6973). Sistema Viário Nacional na Modalidade Rodoviária*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- CTB (2001). Lei nº 9.503 de 23/9/97. *Capítulo III – Das Normas Gerais de Circulação e Conduta – Artigos 60 e 61*. Código de Trânsito Brasileiro. DENATRAN, Brasília.
- ESTATUTO DA CIDADE (2001). Lei 10.257 /2001. *Que Estabelece Diretrizes Gerais da Política Urbana*. Câmara dos Deputados. Brasília.
- Hillier, B. e Hanson, J. (1984). *The Social Logical Space*. Londres: Cambridge.
- Holanda, F. R. B. (2002). *O Espaço de Exceção*. Tese de Doutorado. Universidade de Londres.
- Medeiros, V. A. S. e Trigueiro, E. (2001) Disneyfication Now? Assessing spatial correlates for Heritage Preservation in Natal. *Proceedings of the Third Space Syntax Symposium*. GeorgiaTech, Atlanta/USA.
- Medeiros, V. A. S. (2002). *Da Praça-Forte Seiscentista aos Grandes Eixos*. Monografia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Peixoto, E. A. (1960). *Brasília – A Meta Síntese. Plano Piloto. Brasília*. Disponível em: <http://www.cpdoc.fgv.br/nav_jk/htm/O_Brasil_de_JK/Brasilia_a_meta_sintese.asp> Acesso em: 21/06/05.

Endereços dos Autores:

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Transportes. Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Prédio SG-12, pavimento superior - Asa Norte – CEP: 70910-900 – Brasília – DF – Brasil.

Fax: (+55) (61) 307- 3065
Fone: (+55) (61) 307- 2857 / 2714.
E-mail: anapaulabgb@unb.br¹
E-mail: pcmsilva@unb.br⁴

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Instituto Central de Ciências - ICC Norte - Gleba A - Subsolo, Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte Caixa postal 04431 - CEP: 70910-900 - Brasília – DF - Brasil.

Fax: (+55) (61) 274 - 5444.
Fone: (+55) (61) 307- 2454.
E-mail: vaugusto@unb.br²
E-mail: apaulo@det.ufc.br³
E-mail: fredhol@unb.br⁵