

## A Sintaxe Espacial e o Sistema de Informação Geográfica (SIG): o uso de mecanismos *open source* no planejamento da mobilidade urbana.

**Jaqueline dos Santos Rocha**

Universidade Federal do Espírito Santo, jaqueline.s.rocha@edu.ufes.br

**Bruno Massara Rocha**

Universidade Federal do Espírito Santo, bmassara@gmail.com

**Eixo Temático: Teoria, métodos e técnicas**

---

**Resumo.** Este artigo é proveniente de uma dissertação em andamento que busca explorar a teoria da Sintaxe Espacial (SE) como instrumento para a melhoria da mobilidade urbana ativa das cidades. Se conceitua a partir da carência de investimento público em tecnologia e da dificuldade de pesquisadores e profissionais de diversas áreas relacionadas ao planejamento urbano em acessar informações sobre as cidades brasileiras, o que muitas vezes resulta em tomadas de decisão sem o devido prognóstico. Desta forma, busca instruir sobre o uso de mecanismos *open source* para o planejamento das cidades, abordando a teoria da SE e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e sua aplicação na mobilidade urbana, com enfoque para a mobilidade urbana ativa. A metodologia consiste em realizar análises sintático-espaciais através do Space Syntax Toolkit (SST) no software QGIS a partir da definição da área de estudo e da coleta de dados. Os resultados preliminares mostraram eficiência do plugin SST quando comparado as mesmas análises realizadas no software Depthmap. Conclui-se que para essa pesquisa, que se limita a análise qualitativa das medidas de integração e escolha, o SST atendeu significativamente, onde destacou-se a facilidade de uso, interoperabilidade com o depthMapX e possibilidade sobreposição de dados geográficos.

*Palavras-chave.* Sintaxe Espacial, SIG, Open Source, Mobilidade Urbana Ativa, Software.

### **Spatial Syntax and the Geographic Information System (GIS): the use of open source mechanisms in urban mobility planning**

---

**Abstract.** This article comes from an ongoing dissertation that seeks to explore the theory of Space Syntax (SE) as a tool for improving the active urban mobility of cities. It is conceptualized from the lack of public investment in technology and the difficulty of researchers and professionals from various areas related to urban planning to access information about Brazilian cities, which often results in decision-making without the proper prognosis. In this way, it seeks to instruct on the use of open source mechanisms for city planning, approaching the theory of SE and the Geographic Information System (GIS) and its application in urban mobility, with a focus on active urban mobility. The methodology consists of performing syntactic-spatial analysis through the Space Syntax Toolkit (SST) in the QGIS software, based on the definition of the study area and data collection. Preliminary results showed efficiency of the SST plugin when compared to the same analyzes performed in the software Depthmap. It is concluded that for this research, which is limited to the qualitative analysis of the integration and choice measures, the SST met significantly, highlighting the ease of use, interoperability with depthMapX and the possibility of overlapping geographic data.

*Keywords:* Space Syntax, GIS, Open Source, Active Urban Mobility, Software.

## 1.Introdução

Mecanismos computacionais cada vez mais disponíveis configuram um importante elo entre a necessidade de se abordar questões nos estudos urbanos e as condições práticas do planejamento urbano. No entanto, é importante que tais recursos sejam acompanhados por teorias e conceitos de análise e interpretação dos dados, como é o caso da sintaxe espacial (SE).

Este trabalho parte do pressuposto que o uso de uma metodologia de análise espacial de forma integrada e adaptada à realidade local é um forte instrumento para o planejamento urbano, com foco para os projetos de mobilidade urbana ativa. Para isso, propõe-se a aplicação da SE, no software QGIS, através do plugin *Space Syntax Toolkit* (SST), todos softwares livres (*free software*) e de código aberto (*open source*). Como estudo de caso, adotou-se o bairro Jardim Camburi, em Vitória (Figura 1). A escolha do bairro se deu por causa da identificação de graves problemas de mobilidade voltados principalmente para o uso intenso do automóvel. Trata-se do bairro com maior densidade populacional do município, que carece de espaços livres públicos, de um sistema de transporte eficaz e de estrutura cicloviária. Essas percepções são obtidas a partir do olhar dos autores, que são usuários frequentes do bairro.



**Figura 1:** Delimitação geográfica dos bairros de Vitória-ES com destaque para Jardim Camburi (fonte: elaborada pelos autores).

Desta forma, esta pesquisa dá-se início a partir da conceituação da SE, que foi desenvolvida a partir dos anos 1970 pelo grupo liderado pelo pesquisador Bill Hillier, e parte da perspectiva de que a instância espacial, ou seja, o recurso espacial (um edifício ou uma cidade), é uma variável explicativa de certas dinâmicas tais como: onde as pessoas estão, como se movem, como se desenvolvem ou como se adaptam, contidas na relação entre sociedade e forma construída (IPEA, 2011). O campo de investigação se situa, sobretudo, em torno de questionamentos acerca das maneiras que a configuração do espaço urbano afeta o modo como a cidade funciona assim como o grau de influência dessa configuração sobre ela (MEDEIROS, 2006). De acordo com o autor, na medida em que a acessibilidade é um fator que influencia a escolha dos deslocamentos, haveria efeitos dessa configuração sobre o padrão de movimento dos indivíduos no espaço. Nesse sentido, as características topológicas (não geométricas) de um sistema viário, imprimem a este sistema

uma espécie de campo probabilístico em que se faz possível apontar as rotas potenciais mais prováveis a serem percorridas. Em termos práticos, isso significa que a configuração urbana apresenta maiores ou menores facilidades de circulação, que não são necessariamente relacionados ao conceito de distância métrica. Ou seja, espaço não é um pano de fundo para a atividade humana, mas é intrínseco a ela.

A aplicabilidade da teoria da SE se dá através do mecanismo *depthMapX*. É um software livre de código aberto, desenvolvido originalmente no início dos anos 2000 por Alasdair Turner, na *University College London (UCL)*. Desde 2011, o software vem sendo desenvolvido por Tasos Varoudis e é o mais utilizado universalmente. Trata-se da versão mais completa para análise sintático-espacial, que aborda a teoria em todas as dimensões (axial, convexa, isovista). Todavia, existem mecanismos alternativos, que abordam apenas uma dimensão e propõem nova aplicação para a análise espacial, como é caso do software *Mindwalk1.0*, desenvolvido no Brasil em 2005 por Lucas Figueiredo. A aplicação da SE também pode ser realizada por meio da integração com o sistema SIG através do plugin *Space Syntax Toolkit (SST)*, e está sendo desenvolvido por Jorge Gil no *Space Syntax Laboratory, The Bartlett, UCL (UCL, 2022)*. A integração da sintaxe espacial com os sistemas de informação geográfica é importante porque, em primeiro lugar, possibilita recursos de análise e visualização de dados espaciais em ambiente SIG, que podem ser sobrepostos com informações relevantes dos elementos constituintes da cidade e em segundo mas não menos importante, auxilia na obtenção de dados para análise espacial em localidades onde não existem informações cartográficas disponíveis, eliminando assim, várias etapas de exportação de dados.

A Geotecnologia pode ser definida como o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica, popularmente conhecidas como ferramentas de Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Geoprocessamento e Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Têm sido cada vez mais exploradas por diversos autores (SINGH, 1996; KHAN et al., 2007), e assim, tem incorporado cada vez mais funcionalidades e aplicações, desde o cadastramento e visualização das informações geográficas até o processamento de modelos específicos, como mapas, arquivos *shapefiles* e até mesmo visualizações em 3D. No entanto, observa-se que muitos estudos e análises de comportamento urbano têm-se utilizado do SIG principalmente como ferramenta de organização, visualização e apresentação de resultados gerados através de outras ferramentas (CLARKE; GAYDOS, 1998; JOHNSTON; DE LA BARRA, 2000). Atualmente, o software ArcGIS é a principal plataforma comercial do sistema SIG. No caso desta pesquisa, propõe-se a utilização do sistema para a elaboração do mapa de segmentos a partir do modelo *Road Centre-Line (RCL)* da área estudada, formato comumente disponibilizado em arquivos tipo *shapefiles*, e após, a execução da análise gráfica por meio do plugin, onde serão realizadas as medidas de integração, escolha e raio métrico. No fim é possível elaborar mapas em escala e com legenda na própria plataforma.

Devido a acessibilidade digital (facilidade de obtenção) presente em mecanismos *open source*, este trabalho opta por utilizar o software QGIS, como principal sistema para a realização das análises. Trata-se de um mecanismo multiplataforma, compatível com os sistemas Windows, Linux, Mac OSX e Android. Embora não seja a principal plataforma comercializada, o QGIS se assemelha ao Arcgis e se destaca por ser um software livre de código aberto, o que significa seu uso é gratuito para qualquer finalidade. Desta forma, é muito usado por arquitetos, urbanistas, geógrafos, engenheiros, planejadores urbanos, arqueólogos e áreas afins, em virtude da possibilidade de criação e edição de informações geoespaciais, organismo base de trabalho de todas essas profissões. Outro fator de escolha determinante, é a conexão com o SST, que como já mencionado, realiza análises de sintaxe espacial diretamente na plataforma, de maneira interoperável com o software nativo, possibilitando a sobreposição de camadas, correlação de análises, otimização de processos e elaboração de mapas, aprimorando os resultados e prevenindo assim possíveis erros ainda na fase de concepção projetual.

O objetivo geral da pesquisa é investigar tecnicamente como a integração entre o SIG e a SE pode auxiliar melhores projetos para a mobilidade urbana a pé, tomando como campo de aplicação e experimentação a mobilidade urbana no bairro Jardim Camburi, em Vitória – ES.

## 2. Problema de pesquisa

Para Rocha (2005), a crescente dispersão das tecnologias digitais de informação e comunicação vem contribuindo enormemente para modificar uma parte significativa de atividades humanas. Segundo o autor:

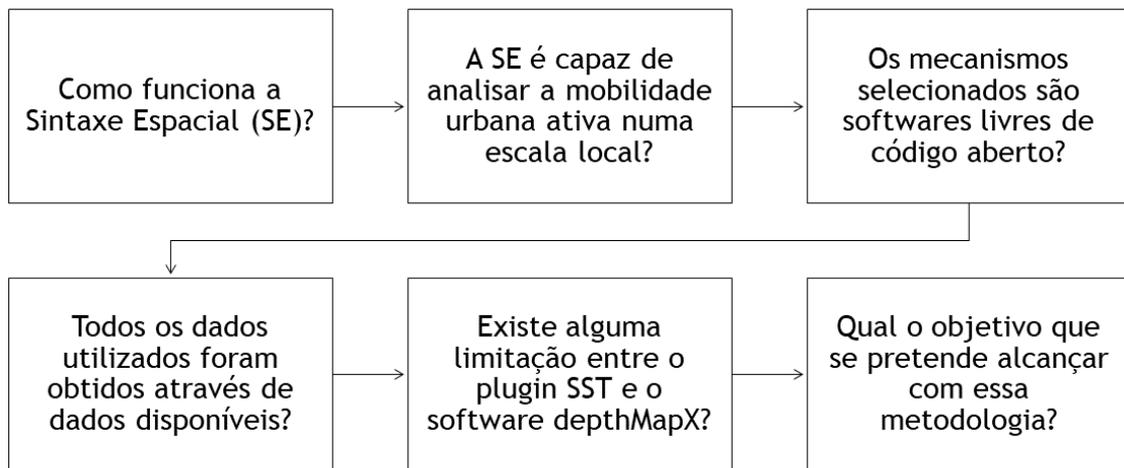
(...) Ela (a dispersão das tecnologias digitais) vem ampliando fontes, agilizando processos, acelerando dinâmicas, virtualizando contatos, estendendo presenças e inserindo novos graus de interatividade em escala global em todos os setores da sociedade (ROCHA, 2005, p. 12).

Em sua visão, não somente ampliaram as velocidades de conexão e transmissão de informações, mas as tecnologias digitais possibilitaram o desenvolvimento de processos e operações inéditas relacionadas ao mapeamento, representação e desenho espacial que podem ser verificadas em diversos campos do conhecimento, em especial a arquitetura e o planejamento urbano (ROCHA, 2005). Diversos métodos de análise espacial baseadas na síntese digital estão sendo desenvolvidas com a intenção de gerar interfaces que possam ser aplicadas no estudo do desenvolvimento do espaço a partir de diferentes abordagens. Esse avanço tecnológico tornou possível incorporar excelentes benefícios na solução de problemas de projeto e contribuir com novos métodos de análise de dados.

O problema da pesquisa surge a partir da identificação da ausência de metodologias de análise disponíveis para estudo e aprimoramento da mobilidade urbana, principalmente na perspectiva das cidades brasileiras. Outro problema derivado, é a não adoção dos poucos mecanismos digitais para o planejamento urbano, o que segundo Duarte et al. (2012), prejudica o desempenho econômico das cidades e afeta diretamente na qualidade de vida da população. Muitos estudos de mobilidade existentes no campo do urbanismo são limitados, realizados por meio de visitas a campo e uso arquivos (.pdf, .dwg) disponibilizadas pelas instituições públicas, que em grande parte estão obsoletos se comparados com a situação atual de cada cidade. Já no campo da engenharia, apesar de apresentar tecnologias de análise avançadas, esses estudos estão relacionados diretamente com análise de tráfego, no sentido de mensurar os problemas de mobilidade voltados para o uso do automóvel. Esse tipo de abordagem também é muito importante, porém, a mobilidade urbana não é limitada ao uso do veículo. Esse tipo de análise requer muita dedicação, o que acaba sendo demasiadamente custoso a sociedade. Isso implica na necessidade de recursos capazes de realizar uma abordagem específica para a análise computacional da mobilidade, em todas as suas dimensões.

Mecanismos computacionais estão cada vez mais disponíveis e configuram um importante elo entre a necessidade de se abordar questões nos estudos urbanos e as condições práticas do planejamento urbano. Considerando a existência de bases de dados abertos com informações georreferenciadas, de planos e de leis para o desenvolvimento urbano da cidade de Vitória-ES e a variedade de softwares existentes, principalmente os livres e de código aberto, pode-se dizer que o problema não está associado a falta de dados ou instrumentos, mas sim, á uma correta abordagem, capaz de cruzar teoria e técnica que possibilite analisar os dados disponíveis. Desta forma, este trabalho objetiva testar a integração dos mecanismos computacionais citados anteriormente (SIG e SE) e pré-selecionados, orientando o seu uso para a prática do planejamento urbano a fim de atender os pré-requisitos recomendados para um bom projeto de mobilidade, pautados à luz do Urbanismo.

Visando a resolução do problema em questão, foram levantados alguns questionamentos. A seguir, apresenta-se um fluxograma (Figura 2) elaborado a fim de mapear esses questionamentos pré-existent:



**Figura 2:** Fluxograma: indagações da pesquisa (fonte: elaborada pelos autores).

### 3. A teoria da sintaxe espacial

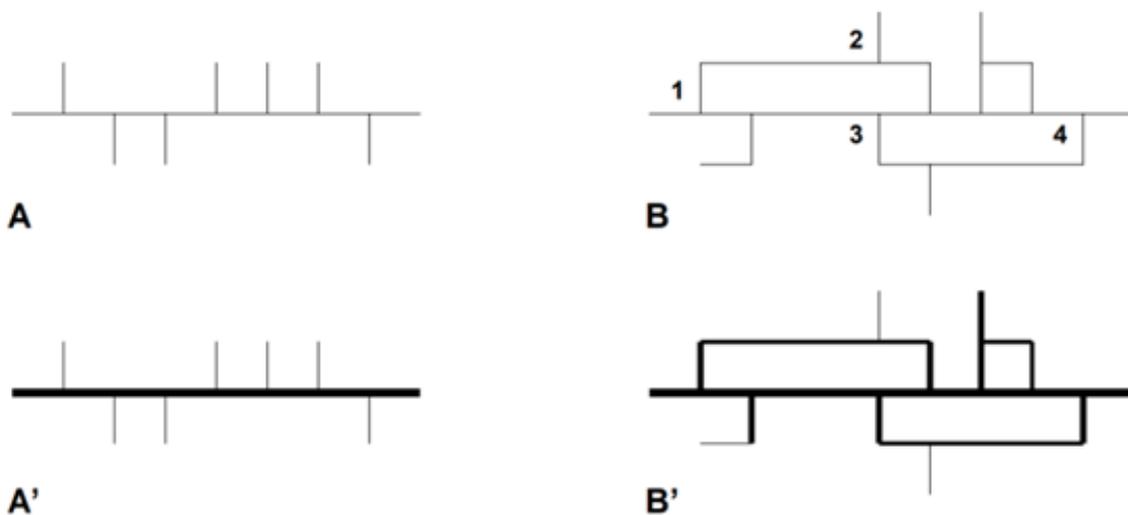
A teoria da sintaxe espacial (SE) originou-se no início da década de 1970 em Londres. Inicialmente desenvolvida por Bill Hillier e colaboradores da *The Bartlett, University College London* (UCL), é um conjunto de técnicas e teorias para analisar layouts espaciais e padrões de atividade humana (HILLIER; HANSON, 1997). Segundo os autores, deriva da preocupação de que “[...] as teorias (em arquitetura) tem sido extremamente normativa e pouco analítica” (HILLIER; HANSON, 1997, p. 01). Busca descrever as relações entre a configuração do espaço (em edifícios e áreas urbanas) e sociedade (a rede de espaços conectados e processos socioeconômicos), através de análises quantitativas e análises qualitativas, visando compreender aspectos importantes do sistema urbano, em especial os padrões de comportamento e possibilidades de fluxos (deslocamentos).

O termo *Space Syntax*, “sintaxe espacial” ou “sintaxe do espaço”, foi utilizado pela primeira vez em 1976 por Hillier e Leaman, ainda que, segundo Holanda (2018), as primeiras ideias de embasamento da teoria já tinham sido trazidas pelos autores em trabalhos anteriores (HILLIER; LEAMAN, 1972; 1974; 1976). A continuidade no desenvolvimento da SE levou a publicação do livro *The social logic of space* de Hillier & Hanson em 1984, onde todos os conceitos e categorias básicas foram reunidas pela primeira vez (HOLANDA, 2018). Hillier e Hanson (1997) afirmam que a intenção do livro era tentar desenhar um campo teórico nos estudos socioespaciais, porém a publicação teve uma influência muito maior no campo metodológico. Apesar disso os autores defendem que a sintaxe espacial não deve ser vista como um conjunto de técnicas, mas sim como teoria e método (uma teoria descritiva básica de tipos de padrões e então um método computacional de análise), que podem contribuir para o desenvolvimento e prática da arquitetura e do urbanismo. Em síntese, as teorias da SE são estabelecidas para explorar “se” e “como” o espaço é internalizado em processos socioeconômicos através dos quais o ambiente construído é criado (UCL, 2022). Desta forma, tem sido feito de duas maneiras: primeiro, podem procurar semelhanças no padrão de modelos entre funções e culturas e, segundo, podem usar as ferramentas da SE para explorar o que acontece com os padrões espaciais se os objetos no espaço forem inseridos de uma maneira diferente. Isso implica na possibilidade do uso da teoria tanto para analisar layouts e padrões existentes quanto para orientar decisões projetuais.

A teoria procura avaliar o movimento (os padrões, as hierarquias e associações) distribuído no sistema (a partir da forma do espaço) e de que maneira essa distribuição está contextualizada com a dinâmica urbana (MEDEIROS, 2006). Assim, o foco é então, a compreensão do movimento, que se torna o significado do aspecto relacional no espaço urbano ao sugerir “como a forma do espaço interfere (e sofre interferência) na distribuição dos fluxos dentro de uma cidade (MEDEIROS, 2006, p. 98)”. Ainda segundo Medeiros (2006), o movimento pode ser classificado como o princípio da atração, assumindo que deslocamentos são sempre gerados um lugar para o

outro, dependendo do poder de atração que certas formas possuem no sistema urbano como um todo.

Segundo Hillier et al. (1993), a capacidade que certos locais possuem em atrair e concentrar movimento, denomina-se teoria da atração. Entretanto, as teorias de atração estabelecem a associação entre movimento apenas para as formas construídas finais e que não há relação (ou não se explora) o que seriam os vazios entre os espaços construídos. Ainda segundo o autor, é possível demonstrar teoricamente como a configuração da malha viária pode sim ser um aspecto definidor dos fluxos de movimento, independentemente da existência ou não de atratores. Para Hillier et al. (1993, p. 29), as malhas viárias “são capazes de concentrar ou restringir esses fluxos e estabelecer hierarquias que constroem uma rede de diferenças nas diversas vias que compõem um sistema urbano”. A imagem a seguir (Figura 3) ilustra duas situações de vias hipotéticas expressas por Medeiros (2006) para exemplificar de forma visual mais clara o exemplo dado por Hillier et al. (1993).



**Figura 3:** Exemplo de duas configurações de malhas viárias hipotéticas (fonte: Medeiros, 2006, p. 102)

Para o autor, ao observar a figura percebe-se de forma evidente que, para os dois casos, a via horizontal é a mais importante do sistema, porém, em graus diferenciados. Isto porque, na situação A (esquerda), a via desempenha um papel mais importante como concentradora de fluxos do que à direita (B) já que no primeiro exemplo, todas as vias desembocam nela e não há conexões entre as vias secundárias (não existem outras opções de trajeto). Já na situação B (direita), ao contrário, é possível ir da via 1 para a via 2 sem passar pelo grande eixo horizontal. Isso não significa que a via horizontal não seja importante, mas não é o único acesso exclusivo pelo qual qualquer pessoa precise passar para seguir um dado trajeto (MEDEIROS, 2006, p. 102). Dessa forma, é perceptível que a configuração da malha viária apresenta propriedades claras que podem promover ou restringir o movimento, resultando em uma hierarquia espacial que depende diretamente do relacionamento entre suas diversas partes.

Em suma teoria da sintaxe espacial compreende um conjunto de princípios e medidas inter-relacionadas que dominam a forma como as pessoas interagem com o espaço através da percepção, cognição e reflexividade de um dado sistema (HILLIER; HANSON, 1984). É baseada em modelos sintáticos, ou seja, o modelo configuracional que representa o espaço estudado. A configuração é “forma de articulação ou arranjo das estruturas (grade) em um sistema urbano” (MEDEIROS, 2006 p. 96) e associa-se ao termo morfologia, derivada do grego *morpho*, de *morphe*, “forma”, significando literalmente “o estudo da forma” que no contexto urbano, é definida como a ciência que estuda a forma física das cidades (OLIVEIRA, 2021). A criação do modelo sintático é simples, basta, inicialmente, indicar o que são “barreiras” (quarteirões, corpos hídricos, vegetação densa, paredes de concreto, praças, parques) e “permeabilidades” (ruas, largos, espaços passíveis de movimento humano na cidade). Há uma tendência que os modelos,

principalmente os mapas, sejam traçados considerando o sistema viário. Entretanto, qualquer elemento urbano que não seja entendido como uma barreira ao movimento (como é o caso das praças cívicas), pode ser considerado uma permeabilidade. Para Castro (2016), a lógica para interpretar as barreiras e permeabilidades está em entender a lógica de movimentação das pessoas. Por exemplo, no caso das rotatórias, embora o movimento veicular seja circular, as pessoas atravessam de forma linear. Também se aplica ao caso dos canteiros centrais, que apesar de serem “barreiras”, não impedem a permeabilidade do pedestre. Com tal característica, observa-se a necessidade de atenção sobre os elementos constituintes do sistema para cada análise. Pois, no caso dos canteiros centrais por exemplo, uma análise de mobilidade deverá obter um mapa sintático ainda mais criterioso a depender do tipo de modal analisado.

Como qualquer outra teoria, a SE também possui suas limitações. Netto (2013) aborda os limites da teoria na sua própria essência. Segundo o autor, uma das proposições mais criticadas da sintaxe está no fato de que “os impactos de mudanças locais sobre fluxos de movimento pedestre não serem levados em conta” (NETTO, 2013, p. 5). Isso significa que ignora variáveis referentes ao aspecto particular das cidades que também podem influenciar nos deslocamentos. Por fim, o autor também traz à tona a crítica relacionada a abordagem fisicalista do espaço, no qual o mesmo, é definido “quase exclusivamente como pura geometria e estrutura, ou seja, uma concepção essencialmente fisicalista do espaço, focada na análise de configurações e hierarquias” (NETTO, 2013, p. 6). Para ele, a teoria “parece presa na linha axial” e uma representação não pode sobrepor o domínio objetivo de uma teoria (NETTO, 2013, p. 6). Ratti (2004) escreveu sobre algumas inconsistências da teoria e aponta que a SE descarta informações importantes sobre métricas, como a dificuldade de levar em consideração a altura dos edifícios. Apesar disso, Medeiros (2006) acredita que o coerente é aceitar as limitações da SE e valorizar aquilo que mais a distingue de outras teorias: o âmbito relacional (espaço e sociedade). A sintaxe espacial funciona em acordo com a intuição projetual, gerando novas possibilidades a serem exploradas (HILLIER; HANSON, 1997). Ela não explica a realidade urbana, mas auxilia fortemente na percepção da cidade (MEDEIROS, 2006). Sendo assim, esta pesquisa irá fazer uso da sintaxe espacial de modo que ela atenda à necessidade de analisar qualitativamente o espaço urbano para identificar problemas de mobilidade presentes em nossas cidades. O estudo destas necessidades não será prejudicado pelas limitações apontadas pelos autores visto que esta pesquisa está voltada para a aplicação dos mecanismos computacionais e a testagem de suas funções relacionadas a teoria da SE e não a um aprofundamento no problema e da abordagem do urbanismo propriamente dito.

### 3.1 A representação linear do espaço

Das formas de representação que são recomendados para estudos configuracionais (linha, espaço convexo e isovista), a representação linear do espaço é útil para a investigação dos aspectos urbanos relacionados ao movimento. É a que melhor se aplica a grandes sistemas, como é o caso do espaço urbano, e por isso, é a representação adotada para as análises nesta pesquisa.

A representação linear do espaço deve apresentar o menor número possível de retas (que representam acessos diretos) e é obtida a partir da malha viária, que pode ser desenhada através do traçado sobre base cartográfica disponível. Os modelos de representação linear mais comuns são expressos através do mapa axial, mapa de segmentos e do modelo *Road Centre-line* (RCL). Todavia, esse trabalho de cunho majoritariamente computacional opta pela otimização de processos de análise, o que resulta na representação a partir do modelo RCL.

O uso do modelo de RCL foi proposto inicialmente por Turner (2005; 2007), para a resolução das dificuldades com o uso de mapas axiais em análises de segmento (que teria sido recentemente introduzida em 2001 pelo mesmo autor), principalmente no que se refere a crítica recebida pela comunidade da sintaxe do espaço para a definição exata de linhas axiais. O autor também questiona a não adoção de outra representação e porque essa representação não poderia ser a linha RCL (eixo rodoviário/ leito carroçável), visto que se trata de um modelo amplamente utilizado na

engenharia de tráfego que, em geral, órgãos públicos possuem, sendo um ponto positivo para a obtenção e comercialização da sintaxe espacial.

Outro fator relevante, é a metodologia proposta por Dhanani et al. (2012) que consiste na possibilidade de aquisição por meio do mapeamento da web, que indica o uso de dados do *Open Street Map* (OSM) para a obtenção de informações, resultando assim, em uma forma mais ágil de obtenção do mapa sintático. A representação do modelo RCL em um layout urbano hipotético é apresentado a seguir (Figura 4).



**Figura 4:** Representação da linha central de estrada de uma rede de ruas (fonte: Dhanani et al., 2012, p. 8211:4).

Segundo os autores, o RCL permite trabalhar com dados mais precisos que um mapa axial, principalmente no sentido de conferência e cruzamento de informações em ambiente SIG. No QGIS, é possível utilizar imagem de satélite e traçar o modelo simplificado nele ou, como proposto por Dhanani et al. (2012), pode ser elaborado por meio do OSM.

Todavia, vale ressaltar que um modelo RCL leva em consideração o eixo viário, o que pode gerar ruas com linhas duplas, em caso de ruas com canteiro central. Assim, é necessário realizar uma conferência e compatibilização, simplificando o mapa base, considerando a caixa viária total e representando-a com apenas uma linha (exceto em casos de barreiras ao movimento humano). No caso do RCL simplificado, as linhas vão seguindo a angulação das ruas, fazendo com que a geometria do modelo seja mais próxima do real (CASTRO, 2016).

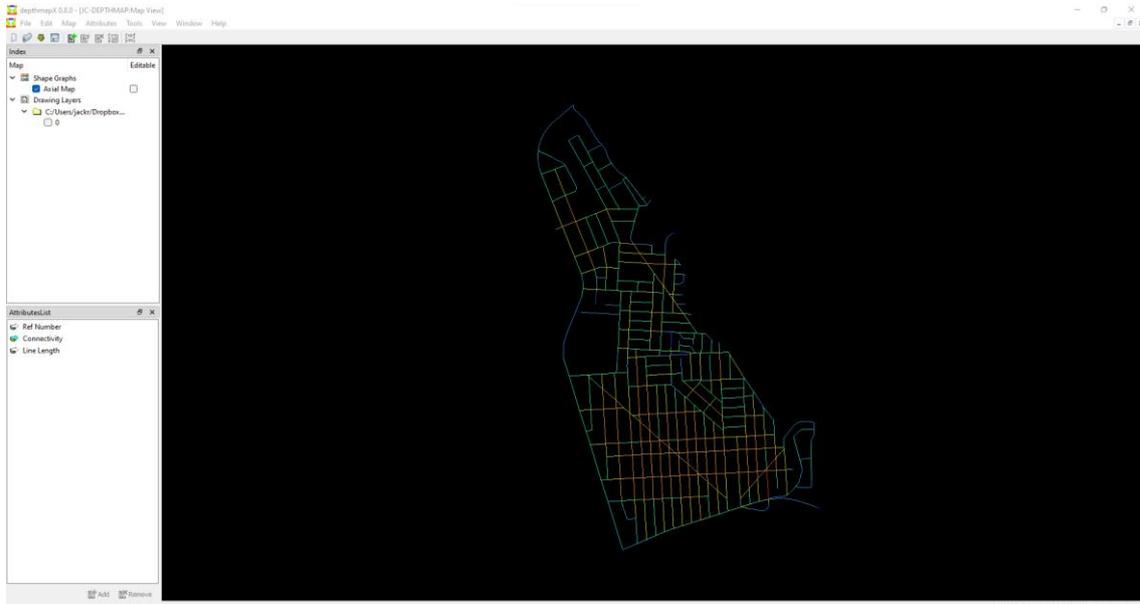
Considerando o objetivo geral desta pesquisa, o método computacional é concebido através da análise angular de segmentos a partir de um modelo RCL devido ao potencial de acessibilidade digital que esses meios possuem.

#### 4. Estudo empírico

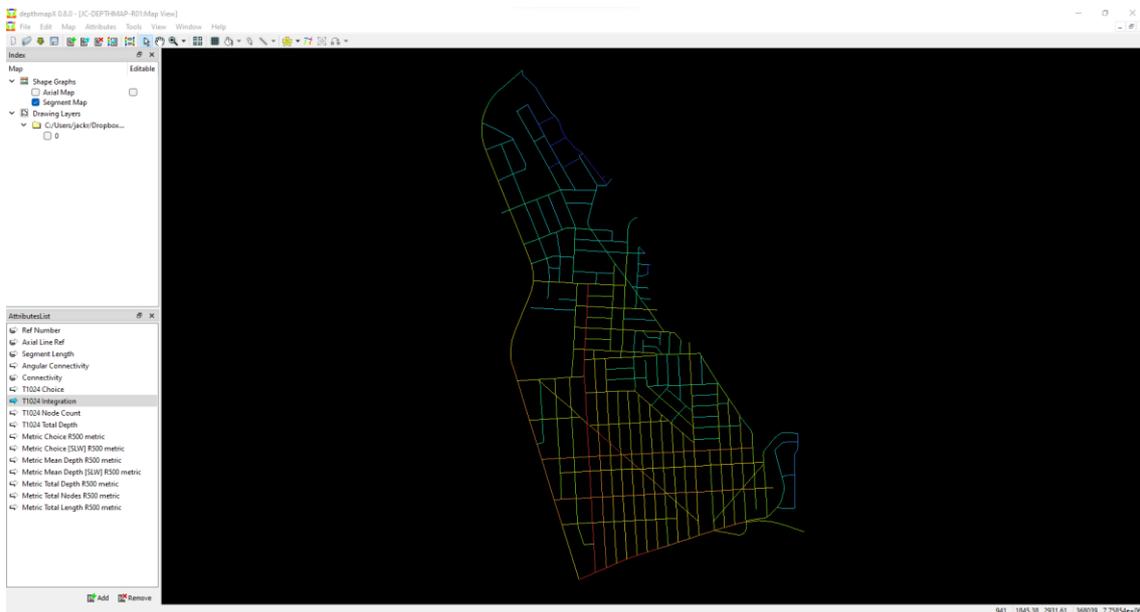
Por se tratar de uma pesquisa qualitativa de base empírica, juntamente com a pesquisa bibliográfica, estão sendo realizados os levantamentos de dados, criação de modelos 3d e testagem de software que consiste na metodologia computacional dessa pesquisa.

Primeiramente, antes de dar início com a integração das tecnologias numa plataforma SIG, optou-se por fazer uma busca sobre os softwares de análise sintático-espaciais utilizados e foi percebido uma predominância de uso no software *Depthmap*. Para a testagem do mecanismo, foi utilizado a versão *depthMapX-0.8*, versão mais recente disponibilizada em 08 nov. 2020. Foram elaborados

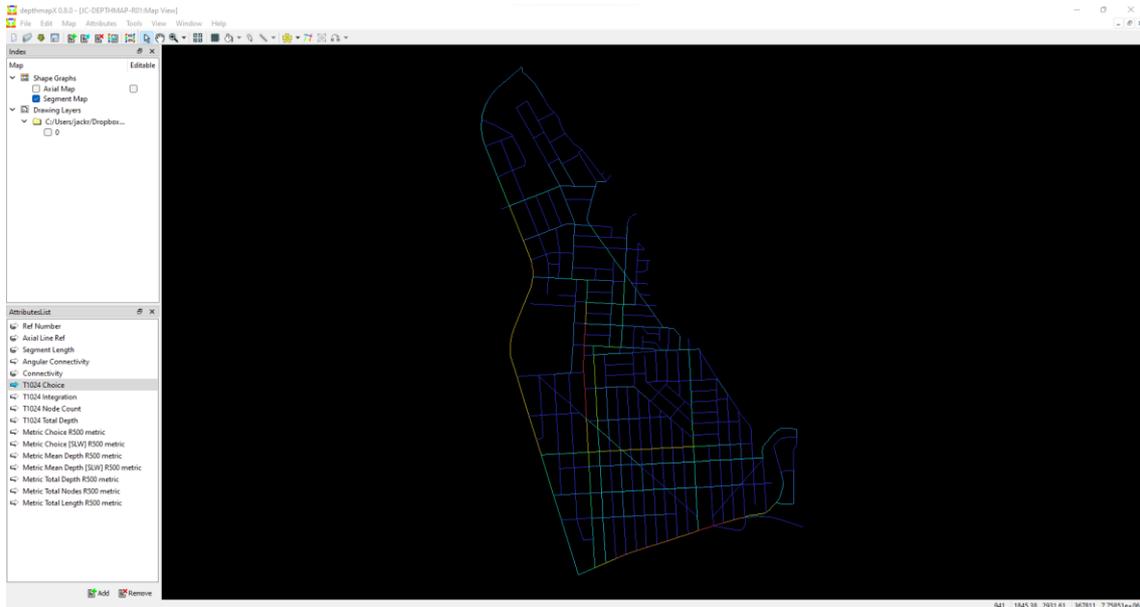
o mapa axial e o mapa de segmentos da área de estudo nas medidas de integração e escolha. Os gráficos do mapa podem ser observados a seguir (Figuras 5, 6 e 7).



**Figura 5:** Mapa Axial de Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: depthMapX-0.8 (fonte: elaborada pelos autores).

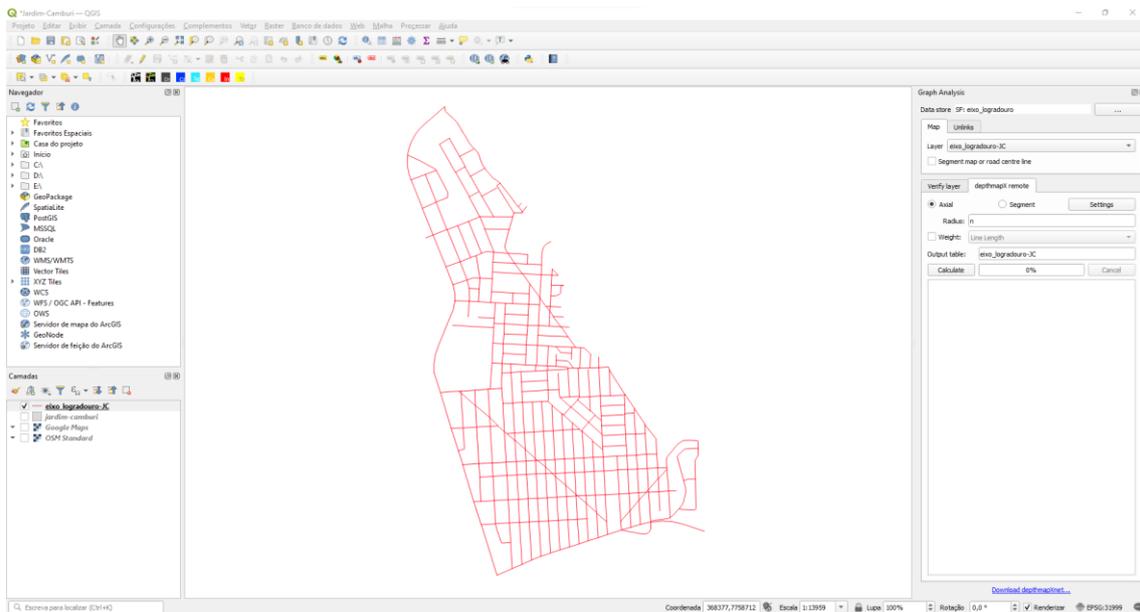


**Figura 6:** Mapa de Segmentos, Integração. Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: depthMapX-0.8 (fonte: elaborada pelos autores).



**Figura 7:** Mapa de Segmentos, Escolha. Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: depthMapX-0.8 (fonte: elaborada pelos autores).

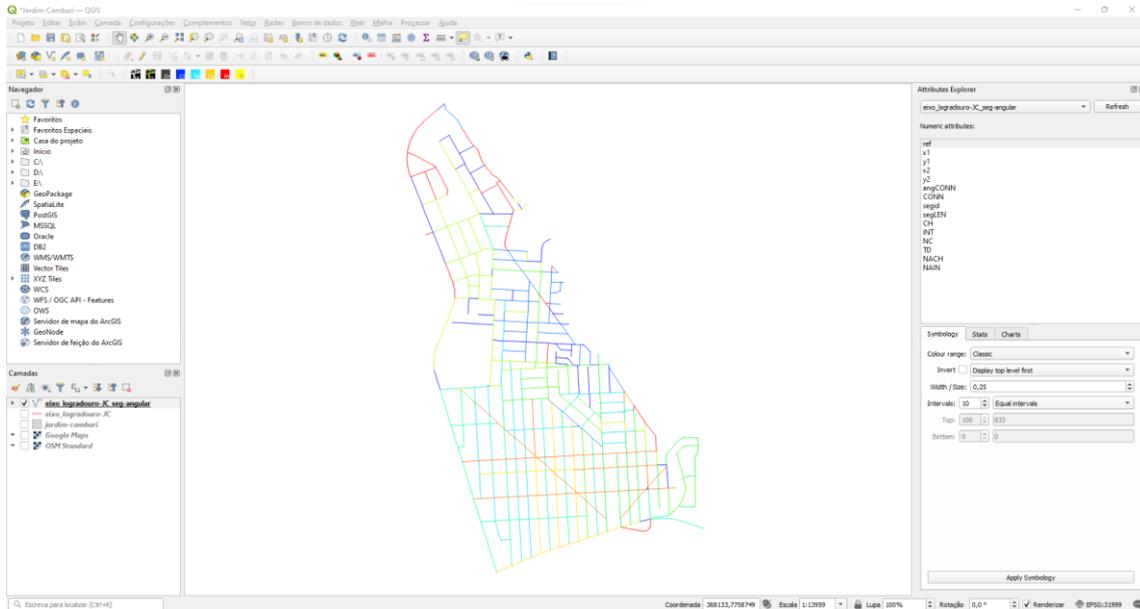
Dando início a metodologia computacional, primeiramente foi elaborado um arquivo base no QGIS, composto pelo modelo RCL do bairro. Os dados foram retirados de fonte de informações públicas (no caso de Vitória, os dados estão disponíveis no *GeoWeb*), onde é possível ter acesso a partir de um equipamento com rede (internet). Vale destacar que existem alternativas para a aquisição do modelo, como as apresentadas por Dhanani et al. (2012), e para as regiões que não disponibilizam dados, existe a possibilidade de gerar uma base de dados no próprio programa por meio do componente *Quick Maps Services* (QMS). O modelo base pode ser observado a seguir (Figura 7).



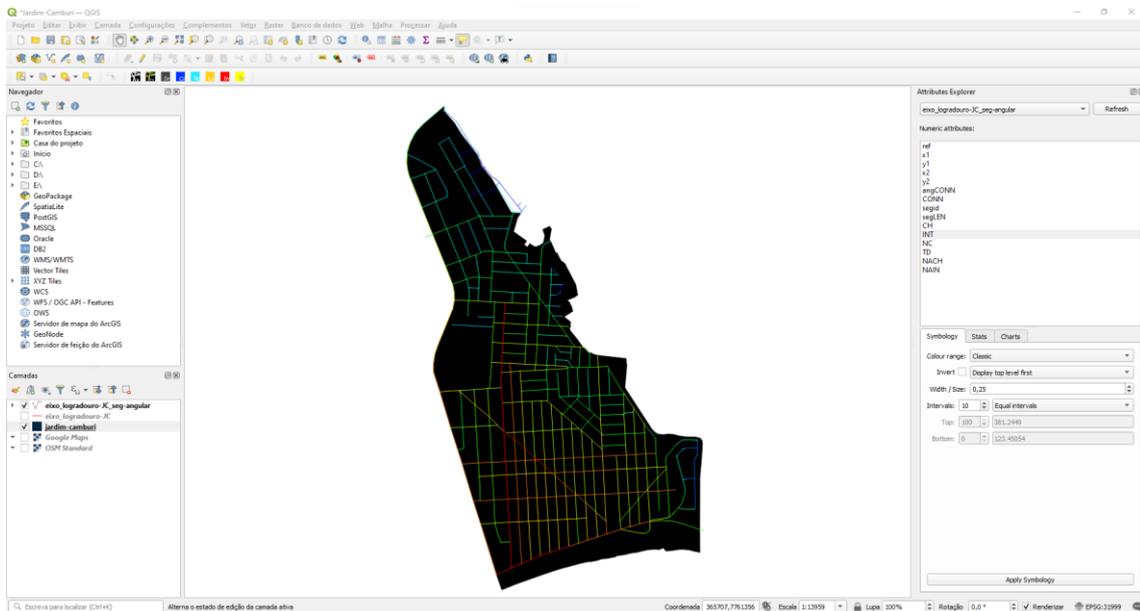
**Figura 8:** Modelo RCL de Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: QGIS 3.16 (fonte: elaborada pelos autores).

Para todos os estudos, está sendo utilizada a versão 3.16 Hannover do QGIS. Até o momento não foram encontradas nesta versão restrições ou incompatibilidades entre o plugin *Space Syntax Toolkit* (SST). A única condição, é que para que as análises sejam realizadas, a versão *depthmapXnet-0.35* deve ser executada em segundo plano durante o processamento de

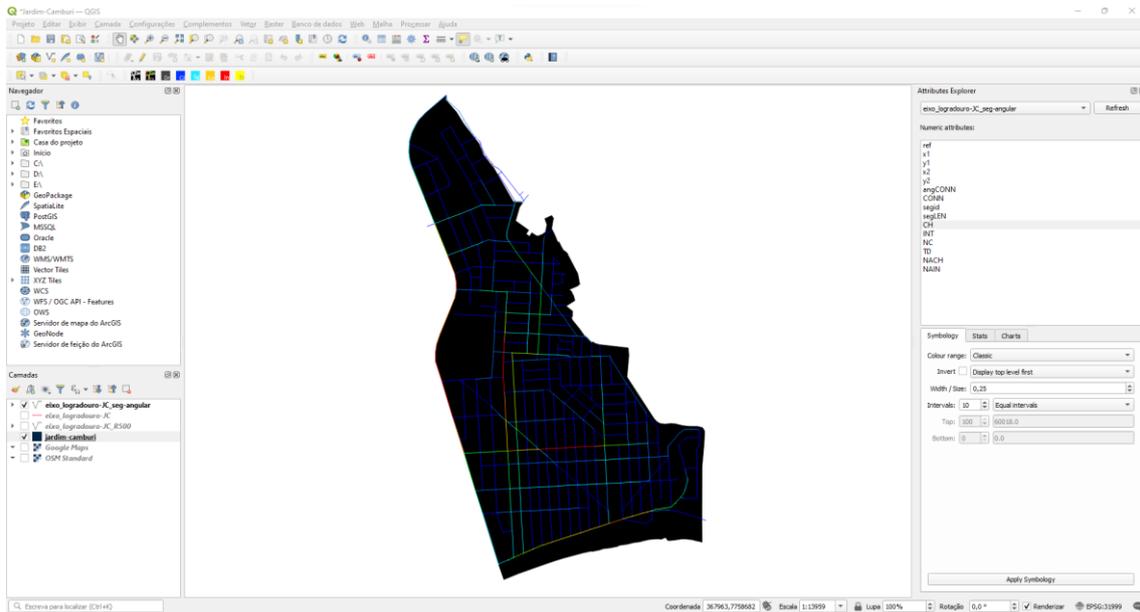
informações para que os softwares interoperem. O resultado das análises de integração e escolha, desta vez realizados em ambientes SIG, estão apresentadas a seguir (Figuras 9, 10 e 11).



**Figura 9:** Mapa Axial de Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: QGIS 3.16 (fonte: elaborada pelos autores).



**Figura 10:** Mapa de Segmentos, Integração. Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: QGIS 3.16 (fonte: elaborada pelos autores).



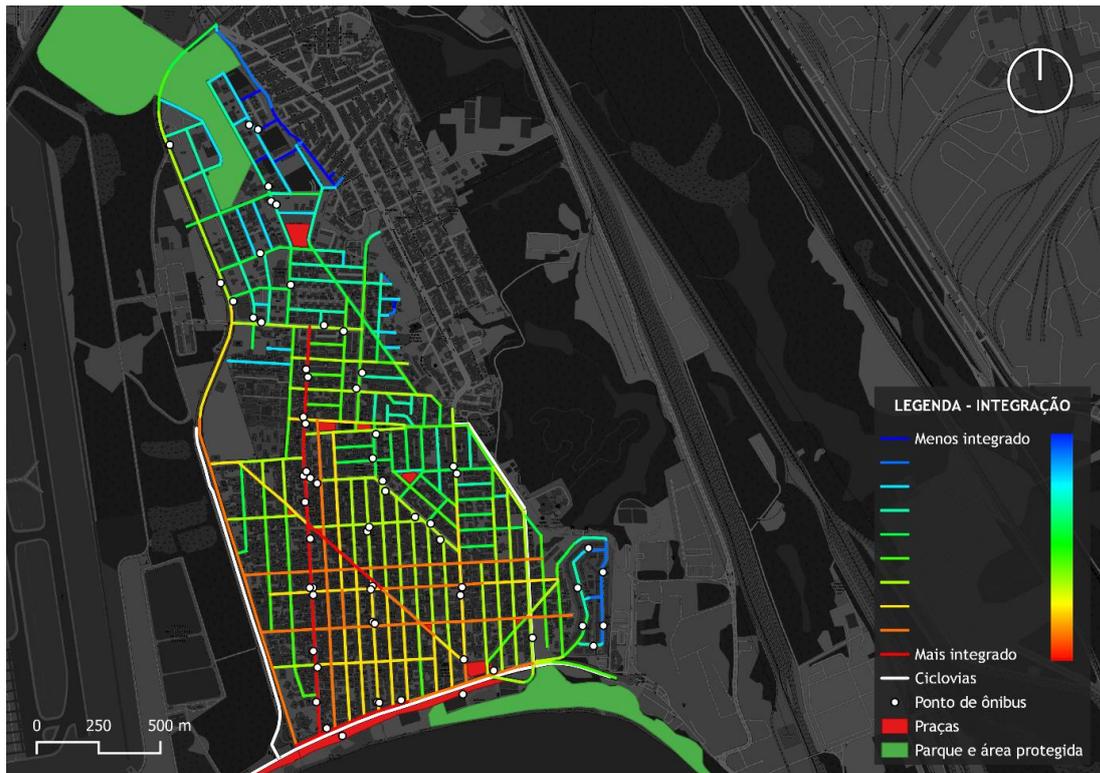
**Figura 11:** Mapa de Segmentos, Escolha. Jardim Camburi - Vitória/ES. Software: QGIS 3.16 (fonte: elaborada pelos autores).

As primeiras análises, ainda em fase de teste dos mecanismos, demonstraram um grande potencial do plugin SST em realizar as análises sintático-espaciais. O software *depthMapX0.8* apresentou alguns erros durante o processo, como por exemplo, erro de salvamento e parada inesperada do programa. Nesse sentido, a versão *0.35net*, teve um melhor desempenho, mesmo inicialmente indicada para trabalhar em segundo plano com o plugin. Por tanto, apenas o download dessa versão é suficiente. O *Depthmap* carece nas possibilidades de exportação do arquivo das análises, sendo limitada aos formatos *.txt*, *.csv*, *.graph*, *.mif*, *.net*, *.eps* e *.svg*. Outro fator que deve ser levado em consideração, é que o *Depthmap* analisa todas as medidas sintáticas (a partir de representações em linha, espaço convexo e isovista). Portanto, uma análise *Step depth* ou um modelo baseado em agentes ainda não podem ser realizados por meio do plugin SST. Contudo, as medidas resultantes podem ser salvas no formato *.mif* e serem representadas e sobrepostas no QGIS tanto em tabelas quanto em mapas.

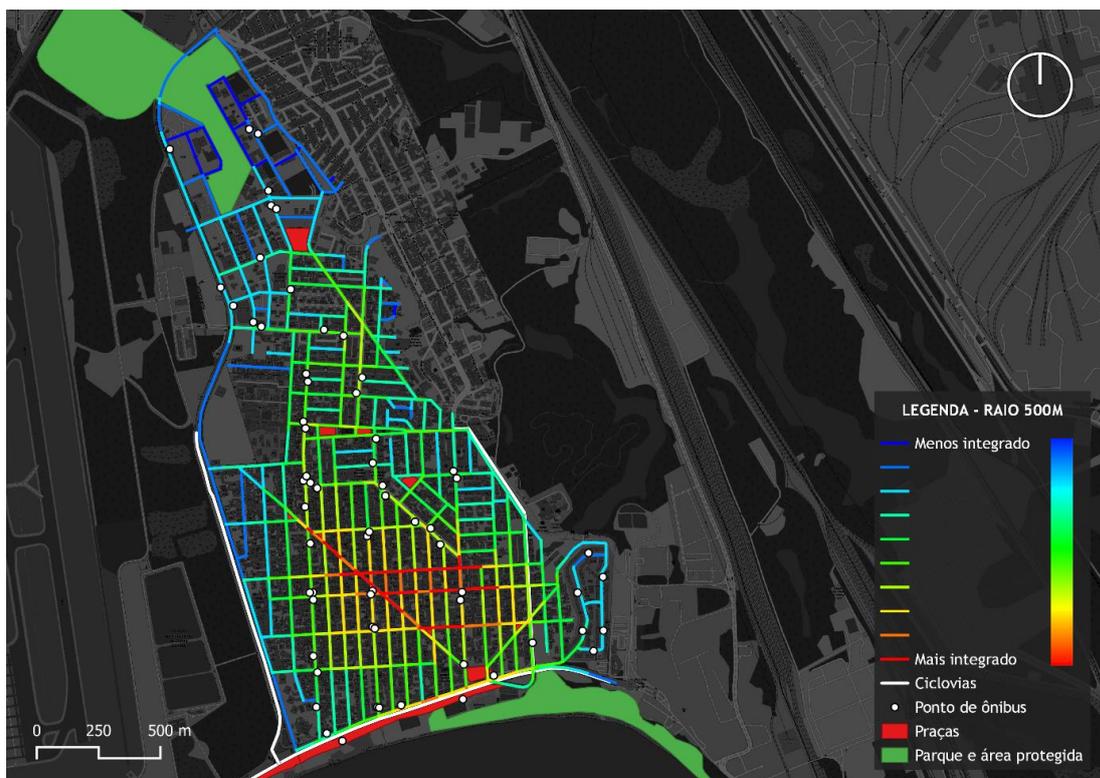
## 5. Resultados e discussões

Para essa pesquisa, que se limita as medidas de integração, escolha e raio 500m, o SST atendeu significativamente, onde se destacou pela facilidade de uso e interoperabilidade com o *depthMapXnet-0.35*, sem ter apresentado nenhum tipo de falha ou travamento do sistema. Além disso, possibilitou de forma muito eficaz uma sobreposição de dados que colaboram para uma análise mais eficaz da cidade. Nas imagens a seguir, é possível visualizar os mapas síntese do bairro Jardim Camburi, elaborados através da metodologia desta pesquisa, que auxilia na identificação de áreas mais integradas (cores quentes - vermelho) e mais segregadas (cores frias - azul), com maior potencial de escolha (cores quentes - vermelho) e maior integração (cores quentes - vermelho) em um raio de 500 metros, propício a caminhabilidade. Foram adicionadas aos modelos, as camadas que marcam a existência de praças e orla marítima no bairro (polígonos em vermelho), os parques e áreas de proteção (polígonos em verde) a localização dos pontos de ônibus (pontos em branco) e as ciclovias existentes (linhas em branco). Com uma simples análise, é possível observar na Figura 12 e na Figura 13, que o bairro é relativamente integrado, porém,

voltado para o uso de automóveis, uma vez que os pontos de ônibus estão localizados a uma distância superior a 500m e as ciclovias passam por fora do bairro.



**Figura 12:** Mapa Síntese: Integração. Análise de mobilidade em Jardim Camburi - Vitória/ES (fonte: elaborada pelos autores).



**Figura 13:** Mapa Síntese: Integração Raio 500m. Análise de mobilidade em Jardim Camburi - Vitória/ES (fonte: elaborada pelos autores).

Já na medida de escolha, como apresenta a Figura 14, é possível observar que dos três percursos que apresentaram maior potencial de escolha, apenas um é provido de pontos de parada de ônibus. Esses trechos também não estão relacionados diretamente com parques ou praças públicas e não possuem ciclovias, ou seja, são carentes de equipamentos urbanos.



**Figura 14:** Mapa Síntese: Integração. Análise de mobilidade em Jardim Camburi - Vitória/ES (fonte: elaborada pelos autores).

Em continuidade ao desenvolvimento dessa dissertação, pretende-se transformar o conteúdo empírico em um capítulo que possa servir aos leitores como um direcionador, uma espécie de manual, para os iniciantes da sintaxe espacial que ainda não sabem por exemplo, qual mecanismo computacional utilizar em suas análises. Para isso, será suprido de informações como proveniência da base de dados utilizada, como inserir ou criar os modelos configuracionais, como realizar as primeiras análises e como realizar a inserção e sobreposição dos dados no QGIS para a elaboração de mapas.

## 6. Análises conclusivas

Este estudo, como já mencionado, é proveniente de uma pesquisa acadêmica em andamento que tem por objetivo explorar soluções para a mobilidade urbana a pé, a partir de mecanismos computacionais *open source* e adota como solução teórico-prática a integração entre a teoria da sintaxe espacial e as geotecnologias, orientando seu uso para a prática do planejamento urbano, na tentativa de tornar esta abordagem acessível e funcional para projetos e pesquisas e aos investimentos públicos.

A dissertação aborda outros aspectos da era digital, principalmente no que se refere a exploração de *free softwares* e *plugins*. Entretanto, vale destacar que mesmo com o avanço dos recursos tecnológicos e da inteligência artificial (IA), apenas o instrumento não é suficiente para proporcionar melhores condições de vida para os usuários das cidades. O conhecimento técnico se faz extremamente necessário em todas as etapas do planejamento urbano. O que falta em termos de conhecimento técnico são estratégias de cruzamento e interpretação dos dados, a partir

de abordagens como a análise da sintaxe espacial, que na opinião dos autores, ainda é pouco disseminada no cenário brasileiro.

Como apresentado no conteúdo empírico, as primeiras análises realizadas a partir da metodologia demonstraram um grande potencial do plugin SST em realizar as análises sintático-espaciais. Por ser uma tarefa ampla e complexa, foi percebido uma complexidade maior e necessidade de conhecimento de fundo no software *Depthmap* que pareceu ser mais simplificada ao realizar as mesmas análises no plugin do QGIS, o que é um ponto positivo tanto para os leigos da sintaxe espacial quanto para os que já possuem um conhecimento em geotecnologias. A adoção do modelo RCL como representação gráfica para as análises também foi crucial, visto que esse tipo de representação pode ser adquirido de forma facilitada, otimizando assim muitos processos.

Por fim, com as análises preliminares realizadas, este trabalho que se dedica aos processos computacionais de análise do espaço urbano, recomenda o uso da teoria da sintaxe espacial para análises qualitativas do espaço urbano, como forma de prognóstico acerca dos problemas de mobilidade existentes nas cidades brasileiras.

## 7. Referências

- CASTRO, Alexandre A. B. Sintaxe Espacial e a Análise Angular de Segmentos #1. Disponível em: <https://aredeurbana.wordpress.com/2016/05/24/sintaxe-espacial-e-a-analise-angular-de-segmentos-parte-1-conceitos-e-medidas/>. Acessado em: 17 jan. 2022.
- CLARKE, Keith C.; GAYDOS, Leonard J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 12, n. 7, 699-714, 1998.
- DHANANI, A.; VAUGHAN, L. S.; ELLUL, C.; GRIFFITHS, S. From the axial line to the walked line: evaluating the utility of commercial and user-generated street network datasets in space syntax analysis. In: **Proceedings of the 8th International Space Syntax Symposium**. Santiago: PUC, 2012. p. 11-32.
- DUARTE, Jose P.; BEIRÃO, José N.; MONTENEGRO, Nuno; GIL, Jorge. City Induction: a model for formulating, generating, and evaluating urban designs. In: **Digital Urban Modeling and Simulation**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 73-98.
- HILLIER, Bill.; HANSON, Julienne. **The Social Logic of Space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- HILLIER, Bill; HANSON, Julienne. The Reasoning Art: or, The Need for an Analytical Theory of Architecture. **Space Syntax First International Symposium**, [s. l.], v. 1, p. 6, 1997.
- HILLIER, Bill; PENN, Alan; HANSON, Julienne; GRAJEWSKI T., XU, J. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. **Environment and Planning B: planning and design**, v. 20, n. 1, p. 29-66, 1993.
- HOLANDA, Frederico. D. O espaço de exceção. 2 edição ed. Brasília: FRBH, 2018.
- IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. **O Uso da Sintaxe Espacial na Análise do Desempenho do Transporte Urbano: Limites e Potencialidades**. Rio de Janeiro, 2011.
- JOHNSTON, Robert A.; DE LA BARRA, Tomas. Comprehensive regional modeling for long-range planning: linking integrated urban models and geographic information systems. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 34, n. 2, 125-136, 2000.
- KHAN, Ata M.; ARMSTRONG, Jennifer M.; TAYLOR, Sarah J. Urban transportation planning and management in a GIS environment. **Journal Alam Bina**, v. 9, n. 1, 109-129, 2007.
- MEDEIROS, Valério. **Urbis Brasiliae ou sobre cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas**. Tese (Doutorado)– Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. 519 p.: il. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/1557>. Acesso em: 11 maio 2020.

NETTO, Vinícius M. O que a Sintaxe Espacial não é? **Arquitextos**, [s. l.], v. 161.04, n. June, p. 1–11, 2013. Disponível em: [https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4916#:~:text=\(2.1\) A teoria da sintaxe,as formas de transformação urbana.&text=Ela não é uma teoria,relações entre espaço e sociedade](https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/14.161/4916#:~:text=(2.1)%20A%20teoria%20da%20sintaxe,as%20formas%20de%20transforma%C3%A7%C3%A3o%20urbana.&text=Ela%20n%C3%A3o%20%C3%A9%20uma%20teoria,rela%C3%A7%C3%B5es%20entre%20espa%C3%A7o%20e%20sociedade). Acesso em: 22 jan. 2020

OLIVEIRA, Cláudio G. S. **Análise da Mobilidade Urbana em Cidades de Porte Médio por Meio da Sintaxe Espacial**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2021. 161 p. v. 1. ISBN 9786525019130.

ROCHA, Bruno M. **Interfaces gráficas e cidades: tecnologia digital na visualização de dinâmicas Espaciais em grande Escala**. 2005. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais.

SINGH, Raj R. Exploiting GIS for sketch planning. **1996 ESRI International User Conference**, Palm Springs, 1996.

TURNER, Alasdair. Could a road-centre line be an axial line in disguise. In: **Proceedings of the 5th International Symposium on Space Syntax**. Amsterdam: TU Delft Techne Press, 2005. p. 145-159.

TURNER, Alasdair. From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. **Environment and Planning B: planning and Design**, v. 34, n. 3, p. 539-555, 2007.

UCL. Overview. In: UCL Space Syntax. **Online Training Platform**. Londres: UCL Space Syntax, 2022. Disponível em: <https://www.spacesyntax.online/>. Acesso em: 10 jan. 2022.