



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS NO CÁLCULO
E ESTIMATIVA DO TEMPO DE DESLOCAMENTO DO TRANSPORTE
COLETIVO**

Eduardo Henrique Carvalho Rangel

Orientador: Odilon Correa da Silva

TIMÓTEO

2018

Eduardo Henrique Carvalho Rangel

**UTILIZAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS NO CÁLCULO
E ESTIMATIVA DO TEMPO DE DESLOCAMENTO DO TRANSPORTE
COLETIVO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Campus Timóteo, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Computação.

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

TIMÓTEO

2018

Eduardo Henrique Carvalho Rangel

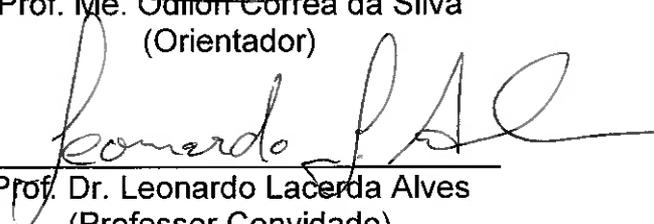
**UTILIZAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS NO CÁLCULO
E ESTIMATIVA DO TEMPO DE DESLOCAMENTO DO TRANSPORTE
COLETIVO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Campus Timóteo, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Computação.

Trabalho Aprovado. Timóteo, 12 de julho de 2018:



Prof. Me. Odilon Corrêa da Silva
(Orientador)



Prof. Dr. Leonardo Lacerda Alves
(Professor Convidado)



Prof. Me. Marcelo de Sousa Balbino
(Professor Convidado)

TIMÓTEO

2018

Dedico este trabalho à minha família e amigos por todo o incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais Zaira Carvalho e Gildázio Rangel Junior, e ao meu padrasto Augusto Pompílio, por toda confiança e investimento depositados em mim durante minha graduação.

À minha avó Ivonete Madureira e aos meus irmãos Marcos e Catarina, por sempre acreditarem em mim e estarem ao meu lado.

À minha namorada Clara Zucherato, por toda paciência, carinho e apoio nos momentos difíceis ao longo desses anos.

A todos os professores, funcionários e colegas do CEFET-MG Campus Timóteo, pela contribuição na minha formação acadêmica e no meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço em especial ao meu orientador Odilon Corrêa, por todo auxílio, paciência e dedicação durante minhas orientações na produção deste trabalho.

Por fim gostaria de agradecer a todos familiares e amigos que participaram da minha formação. Muito obrigado!

“The mind that opens to a new idea never returns to its original size.”

Albert Einstein

RESUMO

Os ônibus são um dos meios de transporte mais utilizados nas cidades brasileiras, e muitas vezes, por possuir um longo trajeto e pelo trânsito, a espera dos usuários nos pontos de parada pode acabar sendo longa. Com o objetivo de minimizar o tempo de espera do usuário nos pontos de ônibus, este trabalho propõe um mecanismo para o cálculo da estimativa de tempo de chegada do ônibus ao ponto de parada, utilizando de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica. Para isso, foi estudado o funcionamento do sistema de transporte dos ônibus e desenvolvido um modelo de Banco de Dados Geográfico e o mecanismo para o cálculo da estimativa de tempo. O teste do modelo foi realizado por um programa, desenvolvido para ser capaz de representar um ônibus em movimento enquanto envia seus dados para o sistema através de um GPS. Por meio de testes realizado através de simulações, foi mostrado que o mecanismo alcançou bons resultados no cálculo da estimativa de tempo de chegada do ônibus, atendendo assim os objetivos propostos pelo trabalho.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Transporte público, Banco de Dados Geográfico, Estimativa de tempo.

ABSTRACT

Buses are one of the most used means of transport in Brazilian cities and, in many cases, because they have a long route and traffic, the waiting of users for the bus at the stopping points can be long. In order to minimize the user's waiting time at bus stops, this work proposes a mechanism to estimate the arrival time of the bus to the stopping point, using the tools of Geographic Information Systems. For this, the bus transportation system was studied and a geographic database model was developed and the calculation mechanism of the time estimation. The test of the model was performed by a program, developed to be able to represent a moving bus while sending its data to the system through a GPS. Through tests performed over simulations, it was demonstrated that the mechanism obtained good results in calculating the estimated time of arrival of the bus, thus meeting the objectives proposed by the work.

Keywords: Geographic Information Systems, Public transport, Geographic Database, Time estimation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conjunto de camadas sobre uma mesma região.....	16
Figura 2 – Estereótipos do framework Geoframe.	19
Figura 3 – Modelo UML em StarUML utilizando o GeoProfile.....	20
Figura 4 – Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.	22
Figura 5 – Diagrama de classe em StarUML utilizando o GeoProfile....	22
Figura 6 – Código da pseudofunção Comprimento.....	23
Figura 7 – Código da pseudofunção Área.	23
Figura 8 – Código da pseudofunção Distância.	23
Figura 9 – Distribuição dos casos de Tuberculose em Ribeirão Preto, no período de 1990 a 2000.	26
Figura 10 – Primeira etapa da modelagem Geoframe.	27
Figura 11 – Diagrama do contexto do sistema.....	29
Figura 12 – Modelo UML utilizando GeoProfile.....	34
Figura 13 – Código sql da tabela "Rota".	35
Figura 14 – Visualização dos dados georreferenciados utilizando a ferramenta QGIS.	36
Figura 15 – Arquivo de texto com os dados do ônibus.	37
Figura 16 – Arquivo de texto com pontos fora da rota.	38
Figura 17 – Arquivo de texto com o acréscimo no tempo.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de rastreabilidade: Classes X Requisitos.	34
Tabela 2 – Tabela "RegistroRota".	37
Tabela 3 – Tabela "RegistroRota" com detecção de erros.	38
Tabela 4 – Tabela "LogErro".	38
Tabela 5 – Tabela "RegistroPontoParada" após o primeiro teste.	39
Tabela 6 – Tabela "RegistroPontoParada" após segundo teste.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BD – Banco de Dados

BDG – Banco de Dados Geográfico

CIM – Computational Independent Model

DG – Dados Geográficos

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

MDA – Model Driven Architecture

OMG – Object Management Group

PIM – Platform Independent Model

PSM – Platform Specific Model

SATP – Sistemas Avançados de Transporte Público

SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados

SGBD-G – Sistema Gerenciador de Banco de Dados Geográfico

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIT – Sistemas Inteligentes de Transporte

SIU – Sistemas de Informações aos Usuários

TI – Tecnologia de Informação

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Sistema de Informação Geográfica.....	16
2.2	Banco de Dados Geográfico	17
2.3	Modelagem de Banco de Dados	18
2.3.1	MDA.....	18
2.3.2	UML Geoframe	18
2.3.3	GeoProfile	20
2.4	Funções Geoespaciais.....	21
2.5	Sistema Gerenciadores de Banco de Dados Geográfico (SGBD-G)	24
3	ESTADO DA ARTE	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
5	MODELAGEM DO BDG.....	33
5.1	Especificação	33
5.2	Implementação.....	35
6	SIMULAÇÃO	36
7	CONCLUSÃO.....	41
	REFERENCIAS.....	43
	APÊNDICE.....	45
	Apêndice A – Códigos SQL	45

1 INTRODUÇÃO

É direito de todo ser humano ir e vir. No entanto, boa parte das cidades brasileiras não tem conseguido viabilizar esse direito de forma satisfatória em relação ao transporte coletivo. Com o crescimento rápido das grandes cidades, os terrenos que se situam na área central encareceram. Isso resultou na migração da classe de menor poder aquisitivo para as periferias. Essa classe depende do transporte coletivo, que acaba sendo na maioria das vezes ineficiente e de baixa qualidade (MACIEL, 2009).

O transporte coletivo é um meio de transporte bastante utilizado pelos brasileiros e demonstra-se ineficiente e precário devido o desenho geográfico dos grandes centros urbanos, sendo que para se chegar ao destino desejado, muitos são obrigados a fazer uma grande quantidade de deslocamentos (ARAÚJO et al., 2011).

Esperar um ônibus para ir trabalhar ou passear pode ser muito estressante. Um dos fatores que contribuem para essa insatisfação é a longa espera pelo serviço oferecido. O horário divulgado pela empresa prestadora é programado em cima do percurso dos ônibus, mas não se leva em consideração o trânsito. Como resultado final, o usuário perde muito tempo esperando pelo ônibus.

Diante deste contexto, a Tecnologia de Informação (TI) surge como meio de mudar esse cenário de forma a melhorar a qualidade do serviço de transporte, através de: Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT), Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Sistemas Avançados de Transporte Público (SATP) e Sistemas de Informações aos Usuários (SIU).

Além dos sistemas supracitados, não se pode esquecer dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que surgem como um objeto capaz de representar os dados relativos ao transporte urbano, por exemplo, pontos de parada, trajeto das linhas e localização do ônibus.

Aguiar (2010, p.44) define os SIGs “como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, e visualizar dados do mundo real, que são armazenadas em um banco de dados”, mais conhecido, como banco de dados georreferenciados. Além disso essas informações geográficas podem ser utilizadas para gerar outras formas de análises de dados e facilitar a tomada de decisões pelo usuário do transporte coletivo.

O SIG e os Banco de Dados Geográfico (BDG) podem ser utilizados para análises de dados em diversas outras áreas. Como exemplo de algumas aplicações, temos:

- Aplicação e elaboração de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo (CASTRO, 2002)
- Uso e aplicação de modelos econômicos em sistemas de informação para Geomarketing (MELO, 2003)
- Análise do processo endêmico de doenças (SANTOS, 2004)
- Mapeamento de linha de ônibus (WEIGANG, 2001)

No entanto, a presente pesquisa terá como enfoque um mecanismo de apoio aos usuários do transporte coletivo, cujas informações geográficas serão armazenadas em um banco de dados, que seja capaz de: informar e manter atualizado os horários (estático) de partida e pontos de parada, além de disponibilizar aos usuários informações dinâmicas, por exemplo, horário de chegada, tempo de espera.

1.1 Justificativa

A informação geográfica, conforme já visto, pode atender a diversas necessidades e seu uso aliado a um BDG é capaz de armazenar e representar informações pertinentes, como por exemplo: cálculo da estimativa de tempo de espera e deslocamento no transporte coletivo.

No entanto, o trabalho realizado foi motivado pelo fato do mecanismo proposto poder se tornar a base de uma boa ferramenta de auxílio à população que utiliza o transporte coletivo, com informações dinâmicas, fazendo com que eles fiquem mais informados em relação aos horários de espera e deslocamento do transporte coletivo. Sendo assim, o usuário poderá se programar e fazer melhor uso do seu tempo.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é especificar e validar um mecanismo que utilize informações geográficas no cálculo da estimativa do tempo de espera e deslocamento do usuário que utiliza o transporte coletivo. Para isso, o trabalho tem como objetivos específicos:

- Pesquisar estruturas de dados para armazenamento de informações geográficas;
- Investigar os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados Geográficos (SGBD-G) existentes;
- Analisar framework conceitual para modelagem de banco de dados geográficos;
- Modelar um banco de dados geográfico para tratar o problema proposto;
- Implementar o modelo conceitual em um SGBD-G;
- Especificar um mecanismo para calcular a estimativa do tempo de espera e deslocamento do usuário;
- Avaliar modelo e mecanismos propostos, por meio de simulações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

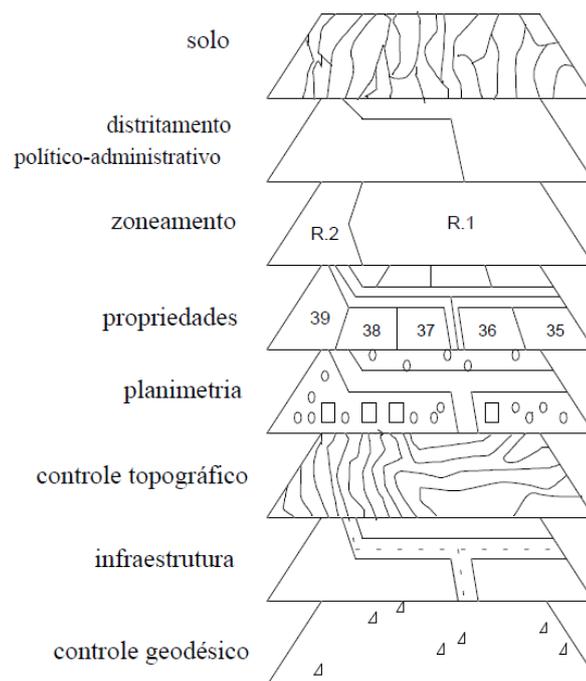
2.1 Sistema de Informação Geográfica

Os SIGs são sistemas computacionais que permitem a captura, armazenamento, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente, cuja localização está associada a uma posição da superfície terrestre (LISBOA FILHO, 2001, p.3).

De acordo com Lisboa Filho (2001), uma das principais características do SIG é a capacidade de manipulação de dados geográficos e não geográficos (cartográficos e descritivos) de forma integrada, auxiliando para análise e consulta. Dessa forma, torna-se possível o acesso às informações descritivas de um fenômeno geográfico por meio de sua localização, e vice-versa.

Segundo Lisboa Filho e Lochpe (1996) os SIGs utilizam o conceito de camadas (figura 1), onde, para uma mesma região, podem ser criadas várias camadas de dados, uma para cada tema a ser representado, facilitando assim a operação de análise.

Figura 1 – Conjunto de camadas sobre uma mesma região.



Fonte: Lisboa Filho e Lochpe (1986).

Os aspectos que caracterizam um dado georreferenciado são (LISBOA FILHO, 2001):

- A descrição do fenômeno geográfico;
- Sua posição (ou localização) geográfica;
- Relacionamentos espaciais com outros fenômenos geográficos;
- Instante ou intervalo de tempo em que o fenômeno existe ou é válido.

Os SIGs têm sido utilizado por instituições públicas, empresas de prestação de serviço de utilidade, segurança militar e diversas empresas privadas. As áreas de aplicação do SIG são: ocupação humana, uso da terra, uso de recursos naturais, meio ambiente e atividades econômicas (LISBOA FILHO, 2001).

2.2 Banco de Dados Geográfico

Primeiramente antes de conceituar um BDG, iremos definir o que é um Banco de Dados.

Segundo Heuser (1998) um banco de dados consiste em um conjunto de dados integrados que tem por objetivo atender a uma comunidade de usuários.

Para Elmasri e Navathe (2005), o uso do termo banco de dados remete às seguintes propriedades:

- Um banco de dados representa alguns aspectos do mundo real, sendo chamado, às vezes, de minimundo ou de universo de discurso (UoD). As mudanças no minimundo são refletidas em um banco de dados.
- Um banco de dados é uma coleção lógica e coerente de dados com algum significado inerente. Uma organização de dados ao acaso (randômica) não pode ser corretamente interpretada como um banco de dados.
- Um banco de dados é projetado, construído e povoado por dados, atendendo a uma proposta específica. Possui um grupo de usuários definido e algumas aplicações preconcebidas, de acordo com o interesse desse grupo de usuários.

De acordo com Lisboa Filho (2001), um banco de dados geográfico contém dados referentes a fenômenos georreferenciados e também a objetos convencionais. Ou seja, pegando como exemplo uma fazenda, seus limites de território são

informações espaciais e são armazenados em um banco de dados assim como os dados dos proprietários das fazendas que são considerados objetos convencionais.

2.3 Modelagem de Banco de Dados Geográficos

O processo de modelagem conceitual de banco de dados compreende a descrição dos possíveis conteúdos dos dados, além de estruturas e de regras a eles aplicáveis (LISBOA FILHO, 2001).

De acordo com Casanova et al. (2005) os processos de modelagem tradicionais não ofereciam mecanismos que pudessem representar os objetos e fenômenos reais de forma mais próxima ao modelo esperado pelo usuário. As técnicas de modelagem tradicionais não conseguiam tratar os dados geográficos em sua plenitude, causando a necessidade de modelos mais adequados que pudessem fornecer mecanismos de abstração mais elevados.

2.3.1 MDA

O MDA trata-se de um modelo que aborda uma proposta da Object Management Group (OMG) com o objetivo de desenvolver sistemas em diferentes níveis de abstração, como por exemplo: CIM (Computational Independent Model), PIM (Platform Independent Model) e PSM (Platform Specific Model).

A abordagem MDA (Model Driven Architecture), consiste no desenvolvimento de um software baseado na modelagem dos sistemas, com modelos formais, os quais podem ser entendidos por computadores (NALON; FILHO; PEIXOTO, 2003).

2.3.2 UML Geoframe

O UML Geoframe consiste na utilização de uma linguagem unificada com base no framework Geoframe, que permite a obtenção de esquemas conceituais de dados numa linguagem bastante clara e de fácil entendimento por parte dos usuários (LISBOA FILHO, 2001). O Geoframe é um framework conceitual, que fornece um diagrama de classes básicas para auxiliar o projetista nos primeiros passos da modelagem conceitual de dados de uma nova aplicação SIG.

O processo de modelagem com base na abordagem UML-Geoframe se

resume em três etapas:

- 1ª etapa: identificar temas e sub-temas para cada área geográfica;
- 2ª etapa: para cada tema, elaborar o sub-diagrama de classes, associando classes de diferentes temas;
- Modelagem do componente espacial para cada fenômeno geográfico identificado.

A especificação de temas é feita através do construtor pacote, da linguagem UML, enquanto a modelagem do componente espacial é feita com base em um conjunto de estereótipos, os quais estão ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – Estereótipos do framework Geoframe.

<i>Fenômeno geográfico e Objeto convencional</i>	<i>Componente espacial de objetos geográficos</i>	<i>Componente espacial de campos geográficos</i>
 Objeto geográfico	 Ponto	 Pontos irregulares
 Campo geográfico	 Linha	 Grade de pontos
 Objeto não geográfico	 Polígono	 Polígonos adjacentes
	 Obj. espacial complexo	 Isolinhas
<i><<função>> função categórica</i>		 Grade de células
		 TIN

Fonte: Lisboa Filho (2001, p.27).

As vantagens da modelagem UML Geoframe (LISBOA FILHO, 2001), são:

- O esquema de dados final torna-se bastante claro, uma vez que apenas os elementos essenciais da aplicação são modelados;
- O uso de estereótipos permite, sem sobrecarregar visualmente o esquema, a fácil diferenciação entre os objetos não geográficos e os fenômenos geográficos (campos e objetos);
- A divisão do diagrama de classes em temas, especificado através de pacotes, torna o esquema mais fácil de ser lido, uma vez que a atenção do leitor pode se ater a apenas uma pequena parte do esquema por vez;

- Devido ao alto nível de acoplamento entre as classes dentro de um mesmo tema, o número de associações entre classes de diferentes temas fica reduzido, contribuindo para a clareza do esquema.

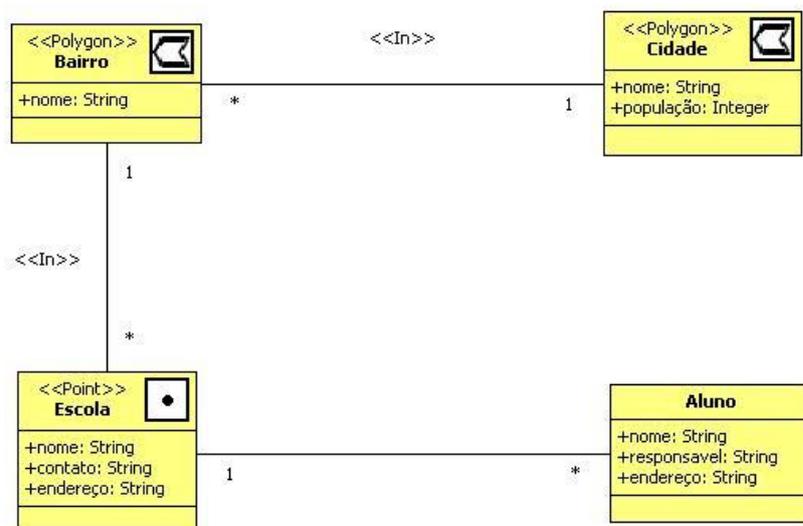
2.3.3 GeoProfile

O GeoProfile é um perfil UML que une características de maior destaque dos modelos conhecidos pela comunidade de BDGeo: OMT-G, MADS, GeoOOA, UML-GeoFrame e o modelo da ferramenta Perceptory (FERREIRA; STEMPLIUC; LISBOA FILHO, 2014).

UML é um mecanismo de extensão para sanar a necessidade de aplicações mais complexas. Os estereótipos são caracterizados como um dos principais veículos para customização da UML, sendo usado pelo GeoProfile durante a representação de formas geométricas (FERREIRA; STEMPLIUC; LISBOA FILHO, 2014).

A figura 3 mostra um exemplo de um modelo UML criado utilizando o perfil GeoProfile em uma ferramenta UML. As classes Cidade, Bairro e Escola possuem estereótipos do tipo <<point>> (ponto) e <<polygon>> (polígono) representando suas formas geográficas, enquanto a classe Aluno não possui estereótipos por se tratar de uma classe sem representação geográfica.

Figura 3 – Modelo UML em StarUML utilizando o GeoProfile.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

De acordo com Ferreira, Stempluc e Lisboa Filho (2014), as principais vantagens do Geoprofile são:

- Permite um nível de abstração mais alto, graças ao uso da abordagem MDA, auxiliando os projetistas nos primeiros passos de um projeto em BDG;
- Suporte a ferramentas CASE já consolidadas pela infraestrutura da UML, utilizando-as na modelagem de banco de dados geográficos e promovendo assim interoperabilidade e padronização da área.

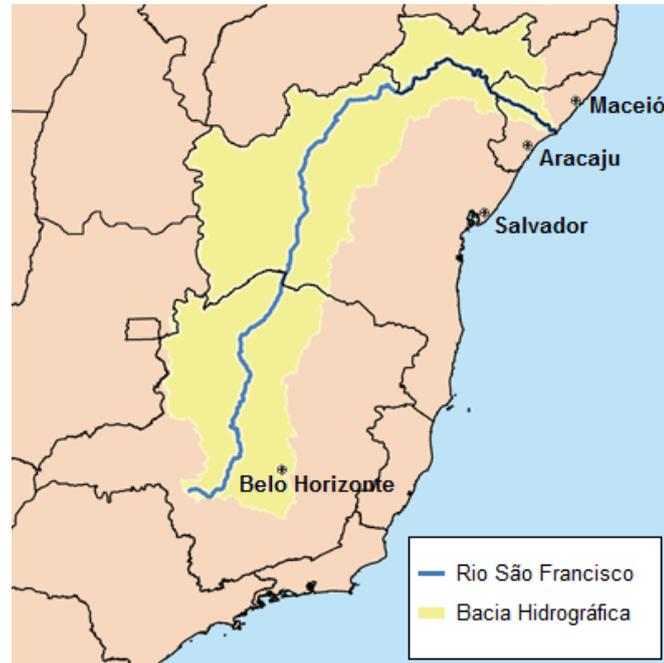
Por ter compatibilidade com diversas ferramentas UML e muita documentação, foi adotado o uso do GeoProfile para o desenvolvimento do modelo proposto.

2.4 Funções Geoespaciais

As funções geoespaciais são um grupo de funções que fornecem operações que possibilitam a manipulação de dados geográficos dentro de um BDG. (POSTGIS, 2018)

Para contextualizar o uso e funcionamento das funções geoespaciais foram utilizadas as figuras abaixo:

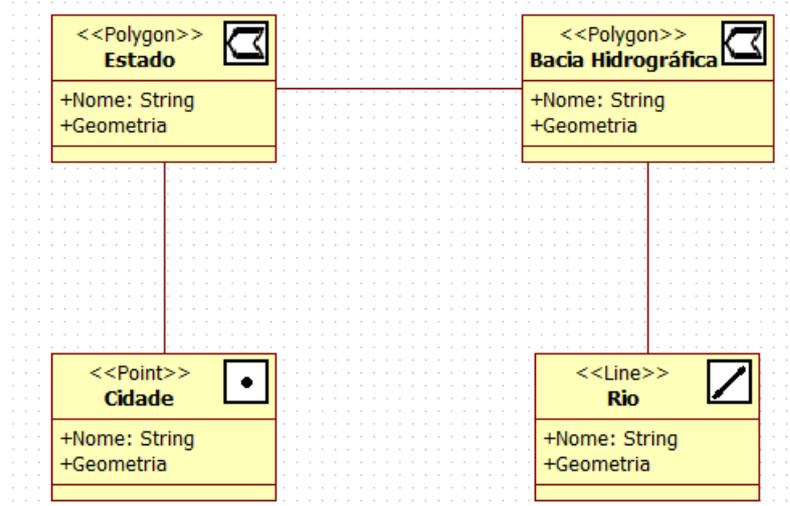
Figura 4 – Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.



Fonte: Wikipédia¹ – Adaptado pelo autor.

A figura 4 ilustra um mapa geográfico com informações sobre extensões territoriais, bacia hidrográfica e leito de rios. O diagrama de classe ilustrado na figura 5 representa um modelo UML, criado com base na figura 4, utilizando o GeoProfile.

Figura 5 – Diagrama de classe em StarUML utilizando o GeoProfile.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

¹ Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Bacia_do_rio_S%C3%A3o_Francisco#/media/File:Saofrancisco.png

As funções geoespaciais podem ser utilizadas por exemplo, para calcular a área total de um estado ou bacia hidrográfica, a extensão do rio, ou até mesmo identificar por quais estados um determinado rio passa. Os exemplos abaixo ilustram alguns casos de uso das funções:

Para se fazer o cálculo do comprimento do rio, pode ser utilizada a pseudofunção Comprimento, que retorna o comprimento de um objeto do tipo linha (figura 6).

Figura 6 – Código da pseudofunção Comprimento.

```
1 select Comprimento(Geometria)
2 from Rio
3 where Nome = 'São Francisco'
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Caso seja necessário saber a área da bacia hidrográfica, pode ser utilizada a pseudofunção Área, cujo retorno é a medida da área de uma geometria do tipo polígono (figura 7).

Figura 7 – Código da pseudofunção Área.

```
1 select Area(Geometria)
2 from Bacia_Hidrografica
3 where Nome = 'Bacia do Rio São Francisco'
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Se for preciso descobrir a menor distância alguma cidade até o rio, a pseudofunção Distância poderá resolver o problema (figura 8).

Figura 8 – Código da pseudofunção Distância.

```
1 select Distancia(Rio.Geometria,Cidade.Geometria)
2 from Rio, Cidade
3 where Rio.Nome = 'Rio São Francisco' e Cidade.Nome = 'Belo Horizonte'
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.5 Sistema Gerenciadores de Banco de Dados Geográfico (SGBD-G)

Um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados é um software ou coleção de programas que auxiliam no gerenciamento do Banco de Dados. O SGBD serve para facilitar o processo de definição, construção e manipulação do Banco.

As principais características de um SGBD, segundo Schimitz (2010) são:

- Definição do Banco de Dados (especificação e descrição dos tipos, estruturas e restrição dos dados);
- Construção do Banco de Dados (carga inicial dos dados);
- Manipulação de Banco de Dados (Operações de inclusão e exclusão de dados);
- Consulta aos dados (extração de informações armazenadas no Banco de Dados).

Os Sistemas gerenciadores de Banco de Dados Geográficos são SGBDs que além de trabalhar com dados convencionais, possuem extensões que lhes confere a manipulação de dados georreferenciados.

Entre alguns SGBD-G, podem ser citados:

- MySQL²;
- Oracle³;
- SQL Server⁴;
- PostgreSQL⁵.

Neste trabalho foi utilizado o SGBD-G PostgreSQL, por ser uma ferramenta open source com grande documentação, principalmente referente ao uso de DG, além de grande compatibilidade com ferramentas SIG.

² <<https://www.mysql.com/>>

³ <<https://www.oracle.com/database/index.html>>

⁴ <<https://www.microsoft.com/pt-br/sql-server/sql-server-2016>>

⁵ <<https://www.postgresql.org/>>

3 ESTADO DA ARTE

Os Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) envolvem o tratamento de informações geográficas por meio de análises espaciais e consistem na captura e armazenamento dessas informações em um banco de dados. Lisboa Filho (2000) em sua pesquisa teve como objetivo apresentar uma abordagem para modelagem conceitual de bancos de dados geográficos com base na linguagem UML e no framework Geoframe.

Lisboa Filho, Rodrigues Júnior e Daltio (2004) também abordaram a modelagem de banco de dados geográficos com base no modelo conceitual UML-Geoframe tendo como foco o uso de uma ferramenta CASE no processo de desenvolvimento de aplicações de SIG.

Nos últimos anos surgiram vários modelos conceituais de modelagem SIG e Nalon (2010) em seu estudo buscou mostrar como é feita a integração do GeoProfile com os padrões internacionais publicados por organizações como a International Organization for Standardization (ISO) e Open Geospatial Consortium (OGC), os quais estão relacionados à informação geográfica. Nalon, Filho e Peixoto (2010) também procuraram mostrar em seus estudos como é feita a integração do GeoProfile com os padrões internacionais da série ISO 19100, os quais são voltados para informação geográfica.

Mas afinal, qual é a melhor modelagem de banco de dados geográficos? Sampaio (2009) em sua pesquisa avaliou o UML-Geoframe e concluiu que uma das vantagens em utilizar esse mecanismo de modelagem a possibilidade de verificar automaticamente a validade do esquema, tornando a modelagem livre de erros básicos.

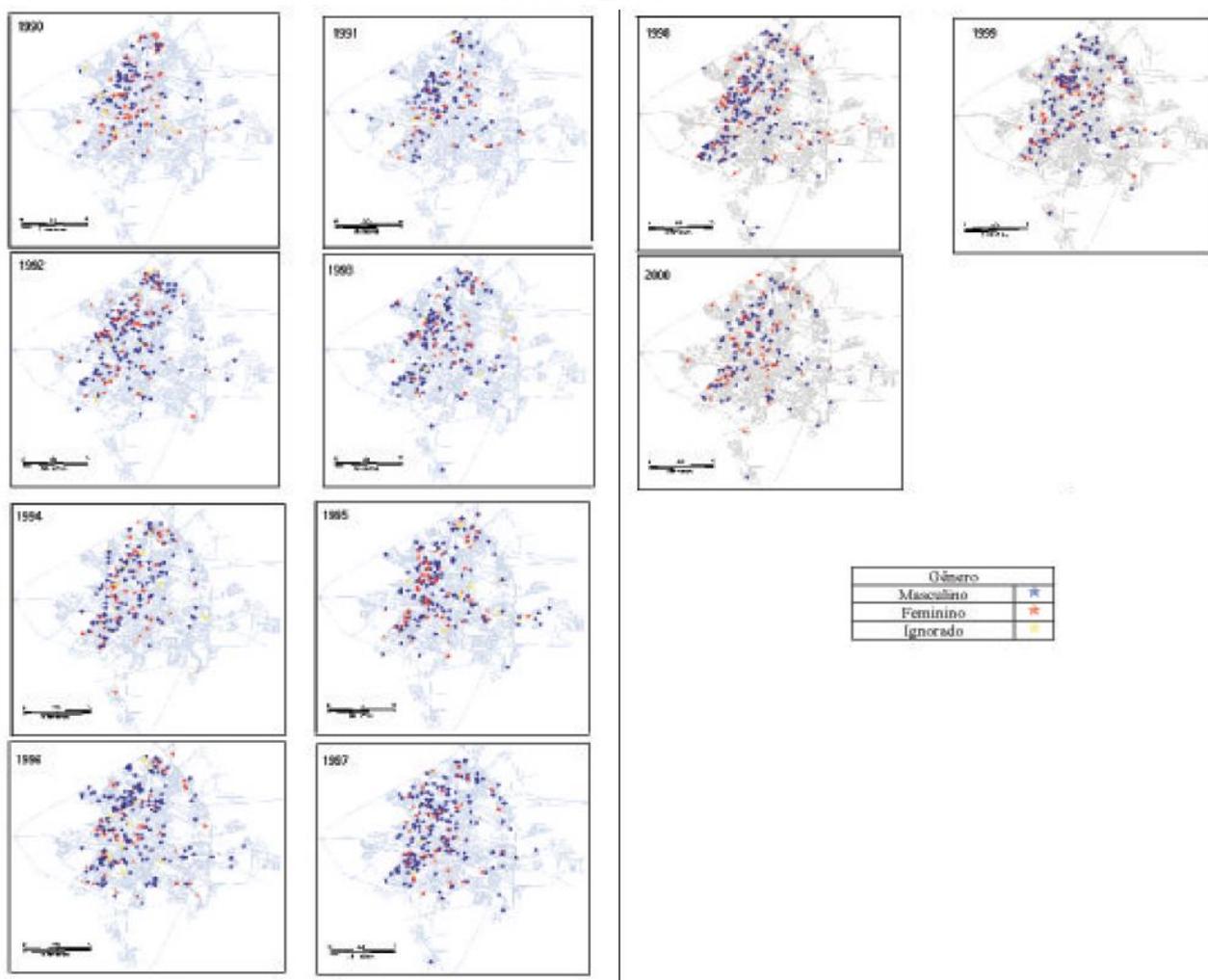
Ferreira, Stempliac e Lisboa Filho (2014) descreveram em seus estudos o uso do GeoProfile na ferramenta CASE Enterprise Architect e da linguagem de transformação da ferramenta para permitir transformações automáticas entre os diversos níveis da arquitetura MDA.

Foram encontrados diversos trabalhos na literatura com a utilização de ferramentas de sistemas de informações geográficas e banco de dados, alguns desses descritos a seguir.

O trabalho de Santos *et al.* (2004) aborda a utilização de SIG para análise do processo endêmico da tuberculose no município de Ribeirão Preto.

Obtendo dados por meio de consultas diretas às fichas de notificações compulsórias e ao programa Epi-Tb (Sistema de Informação da Tuberculose), foi elaborado um Banco de dados com informações sobre a doença na região no período de 1990 a 2000. Em seguida foi utilizado a ferramenta SIG MapInfo Professional⁶, para a obtenção de mapas digitais apresentados na figura 9, que possibilitaram a análise espacial do comportamento da doença com o passar dos anos.

Figura 9 – Distribuição dos casos de Tuberculose em Ribeirão Preto, no período de 1990 a 2000.



Fonte: Santos (2004, pg 4)

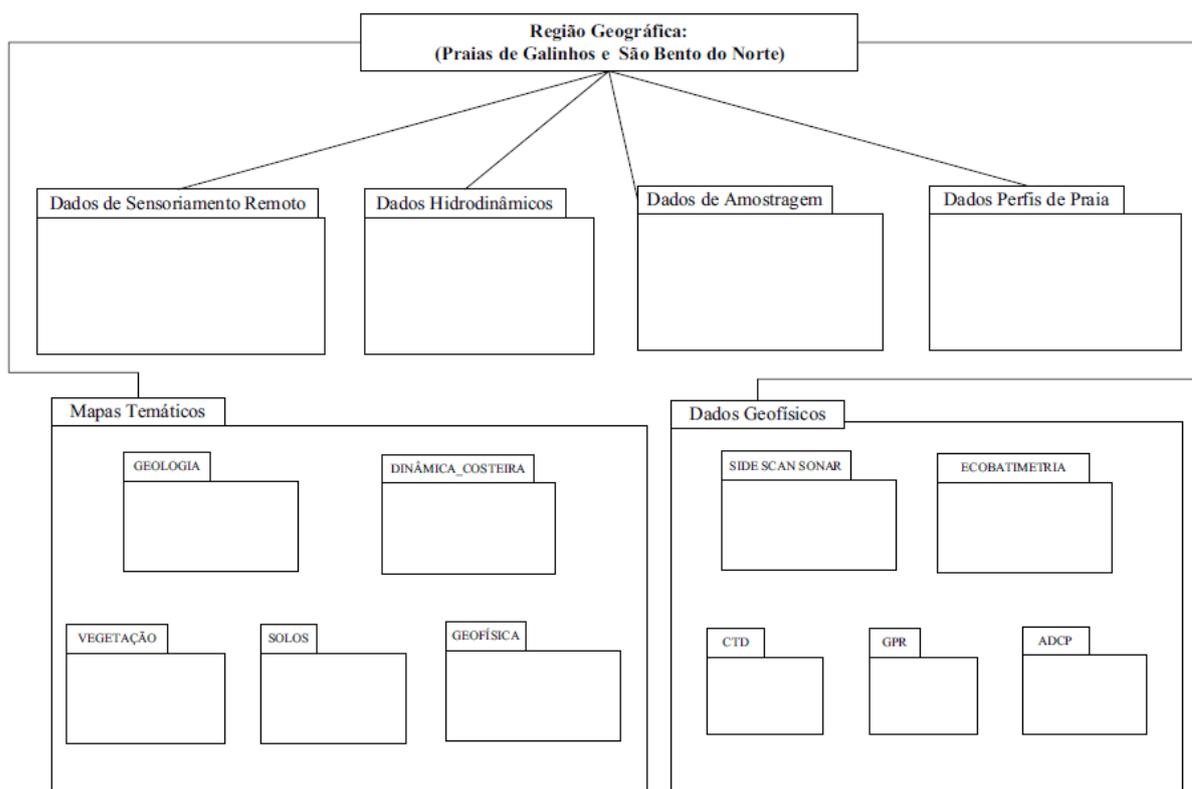
⁶ <https://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html>

Castro (2002) propôs a construção de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo utilizando modelagem de dados geográficos em conjunto de sistemas de informações geográficas. Este trabalho foi direcionado para a área costeira entre os municípios de Galinhos e São Bento no estado de Rio Grande do Norte, e foi dividido em duas etapas.

A primeira etapa consistiu na elaboração e desenvolvimento de um BDG para armazenamento dos dados na área estudada.

A autora optou pelo uso do Geoframe, para a modelagem conceitual do BDG, agrupando os dados da região de acordo com suas características semelhantes, sendo estes: dados hidrodinâmicos, dados de perfis de praia, dados geofísicos, dados sedimentológicos, dados de sensoriamento remoto e mapas temáticos. A figura 10 a seguir apresenta a primeira etapa da modelagem.

Figura 10 – Primeira etapa da modelagem Geoframe.



Fonte: Castro (2002, pg 34)

A segunda etapa consistiu na construção dos Mapas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo, com base nos dados armazenado no BDG, no ISL (Índice de Sensibilidade do Litoral) e nas Cartas de Sensibilidade Ambiental ao

Derramamento de Óleo. A ferramenta SIG utilizada para a confecção dos mapas e como SGBD para armazenamento das entidades do modelo foi o ArcView⁷.

Melo (2003) em seu trabalho realiza um estudo de modelos econômicos que podem ser aplicados ao marketing e sua empregabilidade com o uso de ferramentas SIG, e a implementação de um estudo de caso resultando em um protótipo. O estudo de caso teve como usuário uma loja de Tintas, chamada Loja da Borracha, e através do geomarketing teve como objetivos:

- Encontrar os fornecedores mais próximos de cada loja, o que resulta em um custo menor na aquisição das mercadorias.
- Fazer a segmentação dos clientes, através do acompanhamento e observação do seu comportamento.
- Encontrar as melhores rotas para a entrega de produtos.
- Encontrar a área de influência das lojas para definir estratégias de marketing que consigam manter ou aumentar a área de atuação.
- Encontrar regiões em que seja viável a instalação de novas lojas.

Após a obtenção de dados das lojas Loja da Borracha, de outros fornecedores e de clientes da loja, foi utilizado o software ArcView para manipulação dessas tabelas sobre o mapa da cidade.

A versão final do protótipo apresenta uma interface com um o mapa da região e os dados coletados, auxiliando o usuário a realizar as análises propostas no trabalho.

Weigang (2001) propôs a utilização de SIG e banco de dados, em conjunto com GPS (Global Positioning System), no sistema de transporte inteligente, com o objetivo de disponibilizar informações aos usuários de transporte coletivo nas paradas de ônibus e posteriormente na internet. O sistema proposto tem a finalidade de oferecer informações a respeito de horários para usuários e administradores de transporte coletivos por ônibus, através do uso de GPS.

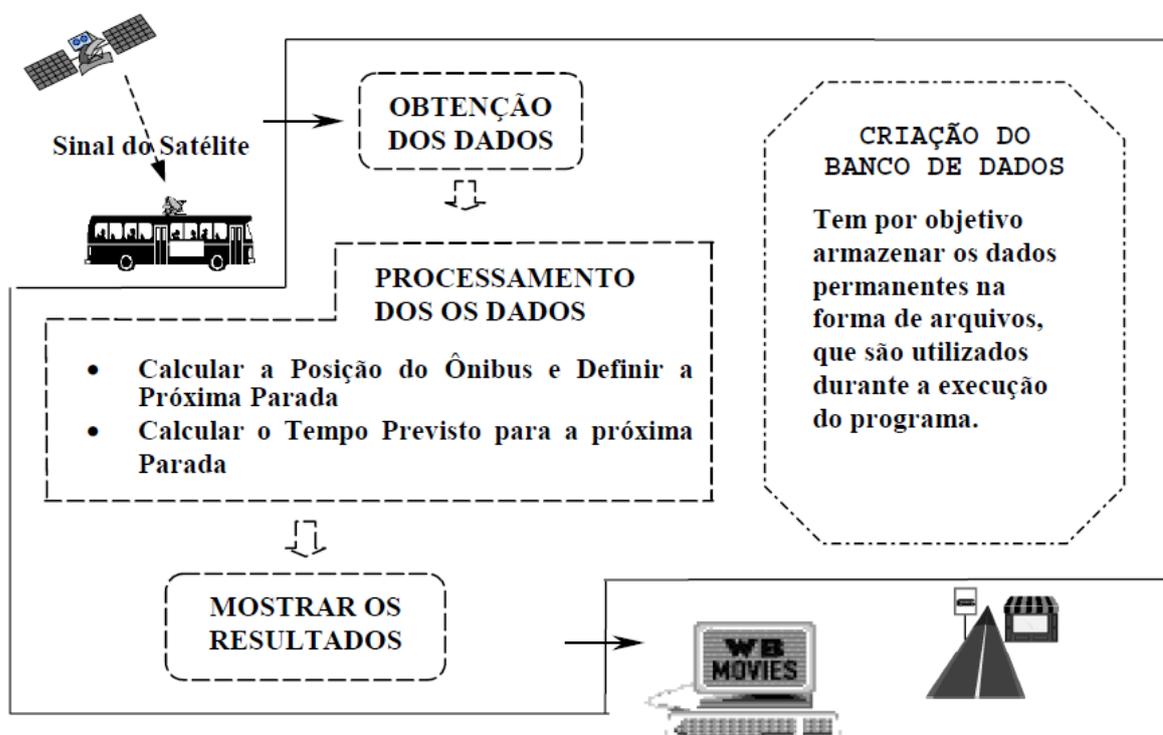
Para o funcionamento do protótipo, foi instalado um GPS, via telefone celular, dentro do ônibus. Durante o percurso do ônibus pela linha, o GPS envia os dados de sua localização e velocidade para o centro de controle, que são armazenados dentro

⁷ <http://www.img.com.br/pt-BR/arcgis10-5/sobre-arcgis>

de um BDG. O sistema realiza o cálculo da distância do ônibus ao ponto utilizando algoritmos no programa, e com os dados da velocidade do ônibus e as velocidades médias no trecho salvos no banco de dados, encontra o tempo médio para chegar ao ponto.

O tempo calculado e as informações do ônibus são enviados então para painéis digitais localizados nos pontos de ônibus, e para a web. A figura 11 ilustra o funcionamento do sistema.

Figura 11 – Diagrama do contexto do sistema.



Fonte: Weigang (2001, pg 4)

Em todos os casos descritos acima, o uso de sistemas de informação geográfico e banco de dados geográfico se mostrou eficiente, atendendo as necessidades e sendo de grande auxílio na visualização de dados armazenados em diversas formas, tais como tabelas, gráficos e mapas, e eficiência para análise durante períodos de tempo em relação a uma determinada área. Em contrapartida, os problemas encontrados foram a dificuldade na obtenção de mapas digitais das regiões estudadas, muitas vezes acabando por ser necessário a contratação de empresas especializadas para a obtenção dos mesmos, e a obtenção dos dados em formato digital, sendo preciso a transcrição manual deles para o sistema.

O último trabalho descrito acima, apresenta um sistema relacionado com o tema proposto, utilizando uma ferramenta SIG e BDG de forma eficiente para o apoio ao usuário do transporte público coletivo. Porém, o sistema descrito possui uma dependência muito grande do GPS no cálculo de tempo estimado, fazendo com que em caso de falha do mesmo, não seja possível a realização do cálculo.

O trabalho proposto apresenta uma modelagem de banco de dados geográfico que consegue retornar uma estimativa de tempo, com base nos registros referentes ao horário em que o ônibus de uma linha passa em determinado ponto de parada. Realizando o cálculo dessa forma, garante que mesmo se houver alguma falha no GPS, a estimativa de tempo ainda será encontrada.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, de cunho de desenvolvimento tecnológico e profissional, explora as possibilidades do processamento e análise de informações geográficas. Tais informações representam crescente recurso que pode atender a diversas necessidades, por exemplo, problemas de saúde pública e segurança pública, além da organização e otimização do transporte coletivo.

Para o desenvolvimento do modelo de dados proposto, o armazenamento de dados, e as simulações, foram utilizados os seguintes recursos:

- Notebook:
 - Processador: Intel® Core™ 2 Duo T5800 @ 2GHz;
 - Memória RAM: 2GB, Dual Channel DDR2 (2x1GB);
 - Disco Rígido: 160GB;
 - Sistema Operacional: Windows 7 Ultimate SP1 32bits;
- Sistema Gerenciador de Banco de Dado Geográfico:
 - PostgreSQL 9.2 utilizando a extensão PostGIS 2.1.5;
- Plataforma utilizada (Simulação):
 - NetBeans IDE 8.2
 - Linguagem de programação: Java;
- Ferramenta UML:
 - StarUML, versão 5.0.2.1570;

Foi definido um cronograma para cada uma das atividades propostas, iniciando-se com estudos teóricos e práticos das diversas tecnologias que foram utilizadas. As etapas previstas para o desenvolvimento foram:

- Estudo sobre sistema de informação geográfica, modelagem de dados, dados geográficos e sistemas de armazenamento de dados geográficos;
- Modelagem de um banco de dados geográfico para o armazenamento das informações geográficas;
- Implementação do modelo criado em um Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Geográfico;

- Implementação de um mecanismo responsável por calcular e estimar o tempo de espera e deslocamento em relação a utilização do transporte coletivo;
- Teste do modelo com base em simulações para verificar a viabilidade da proposta apresentada.

Com base nos estudos de artigos a respeito de SIG e Modelagem de BDG, foi decidido o modelo a ser seguido para o trabalho. Após a modelagem, baseando-se neste modelo, foi criado o banco de dados geográfico e desenvolvida a lógica por trás do cálculo da estimativa de tempo de espera do usuário e deslocamento do ônibus.

A próxima etapa foi o desenvolvimento de um programa em Java para o teste do modelo por simulações. A simulação foi realizada através da inserção de dados no BDG com base no trajeto do ônibus e no tempo em que ele passa em cada ponto de parada.

A parte final foi o retorno do tempo estimado, calculado com base nas informações coletadas e armazenadas no banco de dados geográfico.

5 MODELAGEM DO BDG

5.1 Especificação

Para a criação do modelo do banco de dados geográfico, foi realizado um estudo nos componentes que envolvem o funcionamento do sistema de transporte dos ônibus, e posteriormente uma análise dos requisitos sobre o sistema.

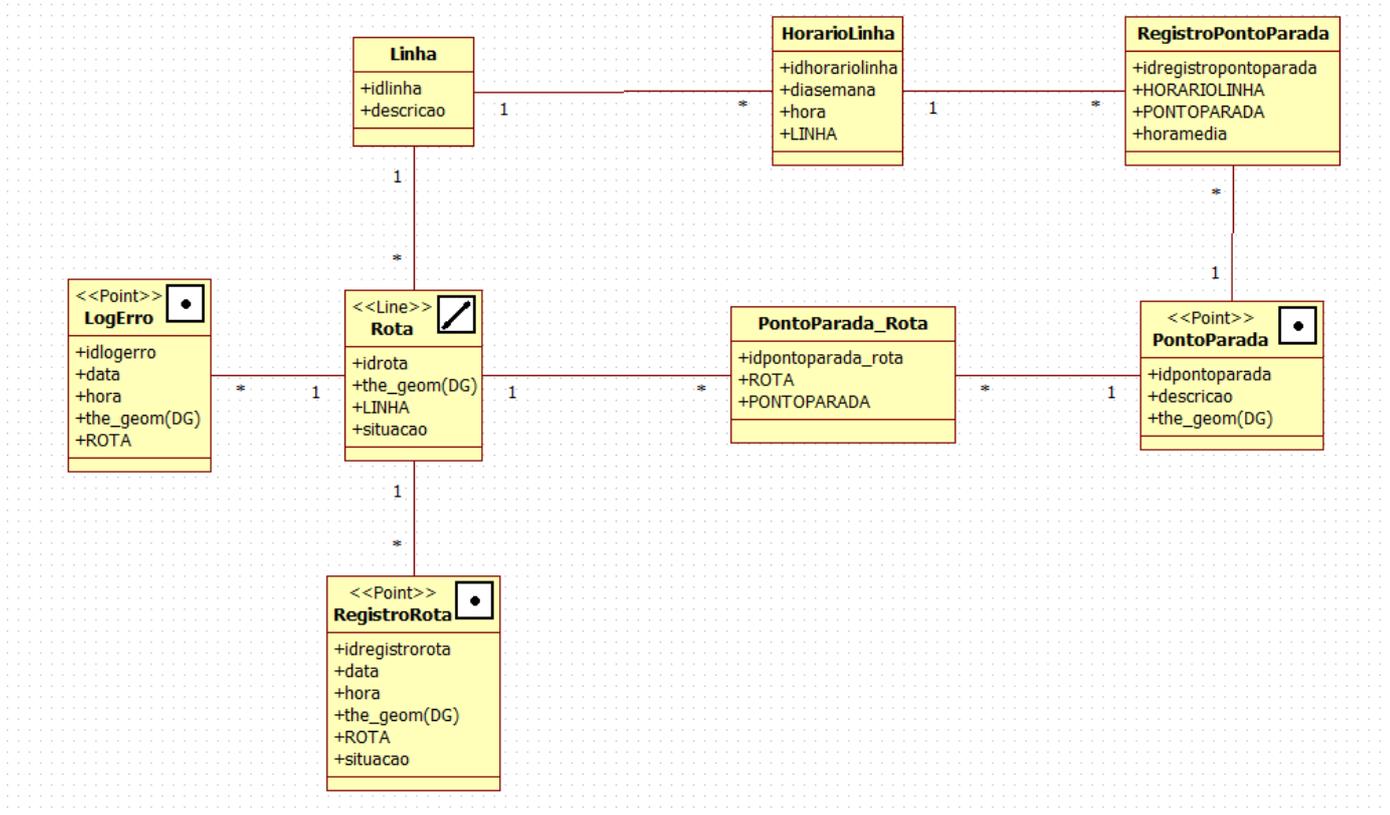
Uma empresa de ônibus trabalha da seguinte forma: Para cada linha da empresa, é definido o trajeto que o ônibus irá realizar, sendo este, composto por diversos pontos de parada, e os horários que o ônibus começa o trajeto. Ao iniciar a rota, o ônibus parte por um ponto inicial e passa por todos os pontos de parada de seu itinerário, finalizando em um ponto final da linha.

Para atender aos requisitos do problema, o banco de dados deve:

- (REQ-01): Armazenar os dados das linhas do ônibus: Registrar os dados de cada linha de ônibus da empresa;
- (REQ-02): Armazenar os dados dos itinerários de cada linha: Registrar todos os trajetos das linhas que os ônibus percorrem;
- (REQ-03): Armazenar os pontos de parada dos ônibus: Armazenar os dados e localização de todos os pontos de paradas das linhas de ônibus;
- (REQ-04): Armazenar o horário das linhas: Armazenar o horário que o ônibus inicia o trajeto de cada uma das linhas;
- (REQ-05): Armazenar tempo de passagem pelos pontos de parada: Guardar os horários de passagem do ônibus pelo ponto de parada, e manter um histórico para cada linha, para eventuais consultas;
- (REQ-06): Armazenar os dados do trajeto em cada linha: Armazenar os dados do trajeto enviados pelo ônibus enquanto percorre uma linha, para análises no banco de dados.

Com base na análise realizada, foram definidas as classes que envolvem o problema. A figura 12 apresenta o modelo de dados desenvolvido utilizando o perfil Geoprofile.

Figura 12 – Modelo UML utilizando GeoProfile.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A relação entre os requisitos e as classes do modelo é apresentada na forma de uma matriz de rastreabilidade, ilustrada pela tabela 1.

Tabela 1 – Matriz de rastreabilidade: Classes X Requisitos.

	REQ-01	REQ-02	REQ-03	REQ-04	REQ-05	REQ-06
Linha	X					
Rota		X				
PontoParada			X			
HorarioLinha				X		
PontoParada_Rota		X	X			
RegistroPontoParada					X	
RegistroRota					X	X
LogErro						X

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5.2 Implementação

Com o desenvolvimento do modelo de dados, o próximo passo foi a implementação do modelo em um SGBD-G. Para isto, foi utilizado o PostgreSQL em conjunto com o plugin PostGIS, permitindo assim o uso de dados georreferenciados. A figura 13 mostra o código utilizado na construção da tabela "Rota", e como foi criada a coluna dos dados geográficos.

Figura 13 – Código sql da tabela "Rota".

```
-- Table: tcc."Rota"
-- DROP TABLE tcc."Rota";
CREATE TABLE tcc."Rota"
(
  idrota integer NOT NULL DEFAULT nextval('tcc."Rota_idrota_seq"'::regclass),
  situacao character varying(20),
  the_geom geometry(LineString,4326),
  linha integer,
  CONSTRAINT pk_rota PRIMARY KEY (idrota),
  CONSTRAINT fk_linha FOREIGN KEY (linha)
    REFERENCES tcc."Linha" (idlinha) MATCH SIMPLE
    ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."Rota"
  OWNER TO postgres;
```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para auxiliar o BDG na manipulação de dados e no cálculo da estimativa de chegada do ônibus aos pontos de parada, foram desenvolvidas procedures. As procedures automatizam a realização dos cálculos e das verificações dentro do banco de dados para cada novo registro recebido do ônibus.

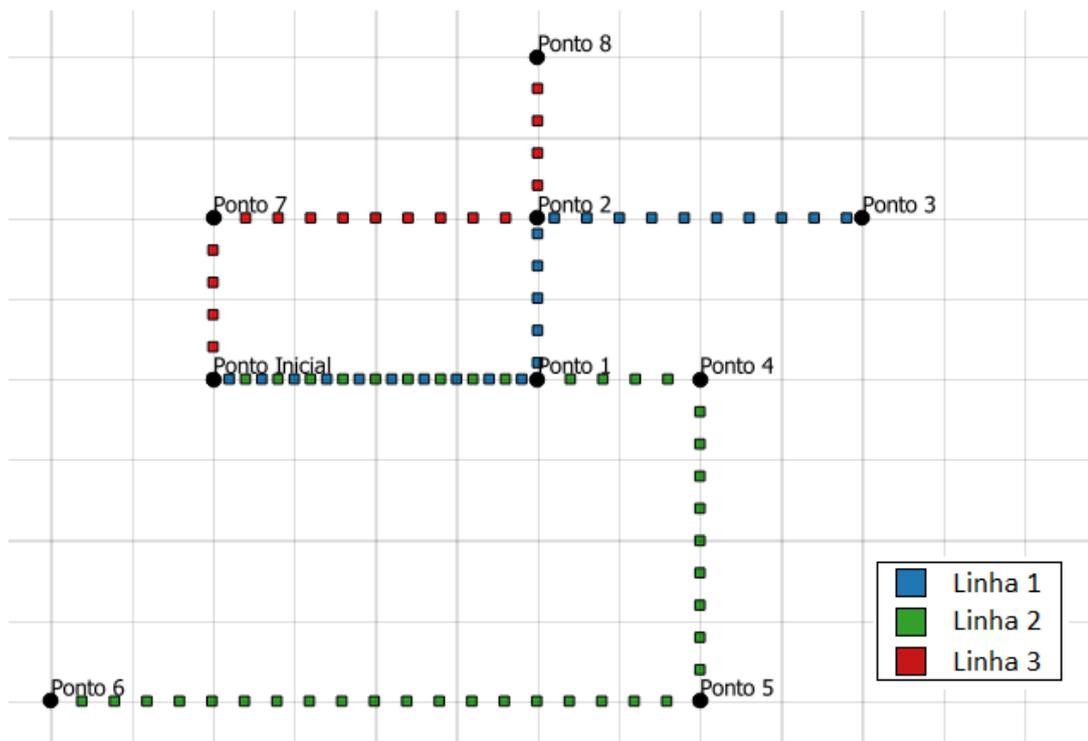
Uma lista com todo o código sql utilizado na criação do banco de dados geográfico está descrita no Apêndice A.

6 SIMULAÇÃO

Visando a realização dos testes do modelo, foi desenvolvido um programa com a função de ler um arquivo de texto que contém os dados do trajeto do ônibus e enviar esses dados para o banco de dados geográfico, simulando assim um ônibus com um GPS instalado.

Para ilustrar esse cenário, foram cadastradas algumas linhas e pontos de paradas de ônibus fictícios no BDG. Na figura 14 é possível observar três diferentes linhas de ônibus, cada uma com sua determinada rota e pontos de parada, sendo que todas as linhas iniciam pelo Ponto Inicial.

Figura 14 – Visualização dos dados georreferenciados utilizando a ferramenta QGIS⁸.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No primeiro teste realizado, temos dez pontos específicos dentro de um arquivo de texto, simulando o trajeto do ônibus na linha 1 no horário de 8 horas. Os dados são apresentados pela figura 15 e estão dispostos na seguinte ordem: Horário

⁸ <https://www.qgis.org/pt_BR/site/>

Figura 16 – Arquivo de texto com pontos fora da rota.

```

1  08:00:00;2016-05-01;1;1;0 0
2  08:10:00;2016-05-01;1;1;4 0
3  08:15:00;2016-05-01;1;1;8 1
4  08:20:00;2016-05-01;1;1;10 0
5  08:25:00;2016-05-01;1;1;12 3
6  08:30:00;2016-05-01;1;1;10 5
7  08:35:00;2016-05-01;1;1;15 0
8  08:40:00;2016-05-01;1;1;16 5
9  08:45:00;2016-05-01;1;1;18 2
10 08:50:00;2016-05-01;1;1;20 5

```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Quando os dados são enviados para o BDG, eles são analisados e são encontrados os pontos que não pertencem a rota, registrando assim um erro no trajeto do ônibus e definindo a situação desses pontos como “erro” (tabela 3).

Tabela 3 – Tabela "RegistroRota" com detecção de erros.

	idregistro [PK] integer	situacao character v	hora time without	data date	rota integer	the_geom geometry(Point,4326)
11	124	ok	08:00:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
12	125	ok	08:10:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
13	126	erro	08:15:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
14	127	ok	08:20:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
15	128	erro	08:25:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
16	129	ok	08:30:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
17	130	erro	08:35:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
18	131	ok	08:40:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
19	132	erro	08:45:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
20	133	ok	08:50:00	2016-05-01	1	0101000020E61000000000
*						

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao realizar o registro do erro na tabela de Registro de Rota, é gerado um registro na tabela de Log de erros para eventuais consultas (tabela 4).

Tabela 4 – Tabela "LogErro".

	idlogerro [PK] integer	data date	hora time without	rota integer	the_geom geometry(Point,4326)
1	23	2016-05-01	08:15:00	1	0101000020E61000000000
2	24	2016-05-01	08:25:00	1	0101000020E61000000000
3	25	2016-05-01	08:35:00	1	0101000020E61000000000
4	26	2016-05-01	08:45:00	1	0101000020E61000000000
*					

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A realização do cálculo da estimativa de tempo ocorre quando o ônibus passa por um ponto de parada da rota. Ao receber a hora de passagem pelo ponto, são geradas duas situações no BDG: Caso não haja algum registro de tempo médio no banco de dados para esse ponto de parada referente a este horário da linha, a hora de passagem é registrada como hora média; Caso o banco já possua um registro referente a esse ponto de parada e horário da linha, ele realiza uma média ponderada entre o valor registrado no banco (peso 3) e a hora de passagem que recebeu do ônibus (peso 1), e armazena como hora média.

A escolha dos pesos foi definida de forma que não haja uma alteração muito grande na média, em caso de alguma obstrução da rota que gere o atraso do ônibus em determinado dia, fazendo com que a estimativa de tempo tenha menores variações.

O cálculo foi definido dessa forma para que haja uma atualização para cada ônibus que percorre a rota, fazendo com que quando ele passe pelo ponto de parada, seja realizado um novo cálculo e atualizada a estimativa de tempo. Dessa forma o usuário sempre terá a estimativa gerada com base nos ônibus do mesmo horário, que passaram anteriormente. A forma como foi organizado o cálculo da estimativa e o BDG faz com que mesmo se o GPS vier a parar de funcionar, o usuário ainda desfrutara da estimativa de tempo armazenada na tabela do banco.

Na tabela 5, é possível observar que quatro dos pontos enviados no primeiro teste (figura 15) eram pontos de parada da linha 1, e como não haviam dados anteriores referente a eles armazenados, tiveram suas horas de passagem armazenadas como hora média do ponto.

Tabela 5 – Tabela "RegistroPontoParada" após o primeiro teste.

	idregistropontoparada [PK] integer	horamedia time without	pontoparada integer	horariolinha integer
1	7	08:00:00	1	1
2	8	08:20:00	2	1
3	9	08:30:00	3	1
4	10	08:50:00	4	1
*				

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para visualizar o cálculo do tempo médio, o programa foi rodado novamente, recebendo os mesmos dados do primeiro teste, mas com um acréscimo de 10 minutos a partir do segundo ponto (figura 17).

Figura 17 – Arquivo de texto com o acréscimo no tempo.

```

1 08:00:00;2016-05-01;1;1;0 0
2 08:20:00;2016-05-01;1;1;4 0
3 08:25:00;2016-05-01;1;1;8 0
4 08:30:00;2016-05-01;1;1;10 0
5 08:35:00;2016-05-01;1;1;10 3
6 08:40:00;2016-05-01;1;1;10 5
7 08:45:00;2016-05-01;1;1;14 5
8 08:50:00;2016-05-01;1;1;16 5
9 08:55:00;2016-05-01;1;1;18 5
10 09:00:00;2016-05-01;1;1;20 5

```

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na tabela 6 é possível observar a mudança da hora média de passagem do ônibus pelos pontos de parada, gerada pela variação do tempo em que o ônibus passa pelos pontos, mostrando o funcionamento do cálculo da estimativa de tempo pela média ponderada dos horários.

Tabela 6 – Tabela "RegistroPontoParada" após segundo teste.

	idregistro [PK] integer	horamedia time without integer	pontoparad integer	horariolinha integer
1	7	08:00:00	1	1
2	8	08:22:30	2	1
3	9	08:32:30	3	1
4	10	08:52:30	4	1
*				

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

7 CONCLUSÃO

Após o estudo bibliográfico referente aos dados geográficos e de diversas formas do seu uso, foi especificado o mecanismo para o cálculo da estimativa do tempo de chegada do ônibus ao ponto dentro de um BDG.

O modelo de dados desenvolvido, após sua implementação no SGBD-G, possibilitou o registro das atividades dos ônibus, conseguindo armazenar os dados enviados durante seu percurso diário. Enquanto o banco recebe os dados, as procedures criadas para a análise e cálculo do tempo, analisam os dados e realizam a estimativa do tempo médio de chegada do ônibus ao ponto de parada.

O trabalho desenvolvido atendeu aos objetivos geral e específicos definidos, conseguindo por meio de simulações, mostrar o funcionamento do SGBD-G quanto ao armazenamento e controle dos dados geográficos e a realização do cálculo da estimativa de tempo. Porém, durante a realização do trabalho foram encontradas algumas dificuldades, tais como a falta de documentação, dificuldade de encontrar trabalhos que abordam a área estudada e de exemplos implementados.

Este trabalho apresenta uma base para criação de ferramentas no auxílio do usuário de transporte público coletivo, entretanto possui algumas limitações, como a utilização de uma base de dados pequena para realização das simulações. Para o tratamento das limitações e uma melhoria no modelo podem ser realizadas:

- Novos testes utilizando uma base de dados maior;
- Utilização de dados reais para uma melhor avaliação do comportamento do mecanismo proposto;
- Estudo do funcionamento do mecanismo em outros contextos (Sistema de carona, taxi, etc.).

Como sugestão para trabalhos futuros:

- Propor melhorias no algoritmo de detecção de erro (trabalhar com áreas próximas aos pontos);
- Testar e analisar outros valores de peso na média ponderado, para o cálculo estimativa de tempo;
- Propor um mecanismo para analisar os dados de log de erro e gerar avisos (sistema para auxiliar a tomada de decisão);

- Avaliar a utilização da hora média do ônibus (dados antigos na tabela) no cálculo da estimativa de tempo;
- Propor um mecanismo para coletar avaliações dos usuários (avaliar os dados gerados pelo mecanismo).

REFERENCIAS

- AGUIAR, F. O. Acessibilidade Relativa dos Espaços Urbanos para pedestres com Restrições de Mobilidade. *Tese de Doutorado*. Escola de Engenharia da São Carlo da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-21042010-193924/publico/tese.pdf>. Acesso em: 20 Jun. 2015.
- ARAÚJO, M. R. M., OLIVEIRA, J. M., JESUS, M. S., Sá, N. R., SANTOS, P. A. C., & LIMA, T. C. "Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida". *Rev. Psicologia & Sociedade*; 23 (3): 574-582, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/psoc/v23n3/15.pdf>. Acesso em: 22 Jun. 2015.
- CASANOVA, M. A. *et al. Banco de Dados Geográficos*. MundoGeo, 2005;
- CASTRO, Angélica Félix de. *Modelagem e desenvolvimento de um banco de dados geográficos: aplicação à elaboração de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na área costeira entre Galinhos e São Bento do Norte-RN*. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.
- ELMASRI, Ramez e NAVATHE, Shamkant B. *Sistemas de Banco de Dados*. Pearson Addison Wesley. 4a Edição, 2005
- FERREIRA, Thiago B.; STEMPLIUC, Sergio M.; LISBOA FILHO, Jugurta. *Modelagem de Dados com o Perfil UML GeoProfile e Transformações MDA na Ferramenta Enterprise Architect*, 2014.
- HEUSER, C. A. *Projeto de banco de dados*. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1998. 202 p. (Série Livros didáticos, 4).
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. *Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados*. Buenos Aires: Univ. de Buenos Aires, 10^a Escuela de Ciencias Informáticas, 1996. 50p. Recife: SBC, XV JAI-Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC, 1996. 50p.
- LISBOA FILHO, J. *Modelagem de Banco de Dados Geográficos*. Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- LISBOA FILHO, J. Projeto de banco de dados para sistemas de informação geográfica. *SBC-Revista Eletrônica de Iniciação Científica*, 2001.
- LISBOA FILHO, J.; RODRIGUES JUNIOR, M. F.; DALTIO, J. *ArgoCASEGEO - Uma ferramenta CASE de código-aberto para o modelo UML-GeoFrame*. In: IDEAS 2004 – VII WORKSHOP IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE REQUISITOS Y DESARROLLO DE AMBIENTES DE SOFTWARE, Arequipa-Perú, 3-7 de mayo de 2004.

MACIEL, V. F. *Problemas e desafios do transporte público urbano*. Jornal Mundo Jovem, nº 402. PUCRS (2009), 20.

MELO, Tiago Eugenio de. *Uso e aplicação de modelos economicos em sistemas de informação para geomarketing*. 2003. 71f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000316143>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

NALON, Filipe Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2010. *Adequação de um perfil UML para modelagem conceitual de bancos de dados geográficos aos padrões ISO e OGC usando MDA*. Orientador: Jugurta Lisboa Filho. Co-orientadores: José Luís Braga e Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges.

NALON, F. R.; FILHO, J. L.; PEIXOTO, D. A. *Modelagem de dados geográficos utilizando um perfil UML alinhado a padrões internacionais e à abordagem MDA*. Universidade Federal de Viçosa, 2010.
OBJECT MANAGEMENT GROUP. *MDA Guide*, v.1.0.1, OMG Document formal/2003-06-01 edition. Needham, MA, USA, 2003.

POSTGIS. *PostGIS 2.4.5dev Manual*, 2018. Disponível em: <<http://postgis.net/docs/manual-2.4/>> Acesso em: 23 de abril de 2018

SAMPAIO, Gustavo Breder, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, junho de 2009. *GeoProfile – Um perfil UML para modelagem conceitual de bancos de dados geográficos*. Orientador: Jugurta Lisboa Filho.

SANTOS, Claudia Benedita dos *et al.* Utilização de um Sistema de Informação Geográfica para descrição dos casos de tuberculose. *Bol. Pneumol. Sanit.*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 07-12, abr. 2004. Disponível em <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-460X2004000100002&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 24 maio 2018.

SCHMITZ, L. K. *Geotecnologias Aplicadas ao SIG*. Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento. UFPR. Departamento de Arquitetura. Cieg. 2010.

WEIGANG, L. *et al.* *Implementação do Sistema de Mapeamento de uma Linha de Ônibus para um Sistema de Transporte Inteligente*. Em: XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, 2001, Fortaleza. Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Fortaleza : Martins, Ana Teresa, *et al*, v. 1, p. 72-85, 2001.

APÊNDICE

Apêndice A – Códigos SQL

- Tabela HorarioLinha:

```
-- Table: tcc."HorarioLinha"
-- DROP TABLE tcc."HorarioLinha";

CREATE TABLE tcc."HorarioLinha"
(
  idhorariolinha integer NOT NULL DEFAULT
  nextval('tcc."HorarioLinha_idhorariolinha_seq"::regclass),
  linha integer,
  hora time without time zone,
  diasemana integer,
  CONSTRAINT pk_horario PRIMARY KEY (idhorariolinha),
  CONSTRAINT fk_linha FOREIGN KEY (linha) REFERENCES tcc."Linha"
(idlinha) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO
ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."HorarioLinha"
  OWNER TO postgres;
```

- Tabela Linha:

```
-- Table: tcc."Linha"
-- DROP TABLE tcc."Linha";

CREATE TABLE tcc."Linha"
(
  idlinha integer NOT NULL DEFAULT
  nextval('tcc."Linha_idlinha_seq"::regclass),
  descricao character varying(40),
  CONSTRAINT pk_linha PRIMARY KEY (idlinha)
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."Linha"
  OWNER TO postgres;
```

- Tabela LogErro:

```
-- Table: tcc."LogErro"
-- DROP TABLE tcc."LogErro";

CREATE TABLE tcc."LogErro"
(
  idlogerro integer NOT NULL DEFAULT
nextval('tcc."LogErro_idlogerro_seq"::regclass),
  data date,
  hora time without time zone,
  rota integer,
  the_geom geometry(Point,4326),
  CONSTRAINT pk_logerro PRIMARY KEY (idlogerro),
  CONSTRAINT fk_rota FOREIGN KEY (rota) REFERENCES tcc."Rota"
(idrota) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO
ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."LogErro"
  OWNER TO postgres;
```

- Tabela PontoParada:

```
-- Table: tcc."PontoParada"
-- DROP TABLE tcc."PontoParada";

CREATE TABLE tcc."PontoParada"
(
  idpontoparada integer NOT NULL DEFAULT
nextval('tcc."PontoParada_idpontoparada_seq"::regclass),
  descricao character varying(20),
  the_geom geometry(Point,4326),
  CONSTRAINT pk_pontoparada PRIMARY KEY (idpontoparada)
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."PontoParada"
  OWNER TO postgres;
```

- Tabela PontoParada_Rota:

```
-- Table: tcc."PontoParada_Rota"
-- DROP TABLE tcc."PontoParada_Rota";

CREATE TABLE tcc."PontoParada_Rota"
(
  idpontoparada_rota integer NOT NULL DEFAULT
  nextval('tcc."PontoParada_Rota_idpontoparada_rota_seq"'::regclass),
  pontoparada integer,
  rota integer,
  CONSTRAINT pk_pontoparada_rota PRIMARY KEY (idpontoparada_rota),
  CONSTRAINT fk_pontoparada FOREIGN KEY (pontoparada)
  REFERENCES tcc."PontoParada" (idpontoparada) MATCH SIMPLE ON
  UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION,
  CONSTRAINT fk_rota FOREIGN KEY (rota) REFERENCES tcc."Rota"
  (idrota) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO
  ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."PontoParada_Rota"
  OWNER TO postgres;
```

- Tabela RegistroPontoParada:

```
-- Table: tcc."RegistroPontoParada"
-- DROP TABLE tcc."RegistroPontoParada";

CREATE TABLE tcc."RegistroPontoParada"
(
  idregistropontoparada integer NOT NULL DEFAULT
  nextval('tcc."RegistroPontoParada_idregistropontoparada_seq"'::regclass),
  horamedia time without time zone,
  pontoparada integer,
  horariolinha integer,
  CONSTRAINT pk_registropontoparada PRIMARY KEY
  (idregistropontoparada),
  CONSTRAINT fk_horariolinha FOREIGN KEY (horariolinha)
  REFERENCES tcc."HorarioLinha" (idhorariolinha) MATCH SIMPLE ON
  UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION,
  CONSTRAINT fk_pontoparada FOREIGN KEY (pontoparada)
  REFERENCES tcc."PontoParada" (idpontoparada) MATCH SIMPLE ON
  UPDATE NO ACTION ON DELETE NO ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."RegistroPontoParada" OWNER TO postgres;
```

- Tabela RegistroRota:

```
-- Table: tcc."RegistroRota"
-- DROP TABLE tcc."RegistroRota";

CREATE TABLE tcc."RegistroRota"
(
  idregistorota integer NOT NULL DEFAULT
nextval('tcc."RegistroRota_idregistorota_seq"::regclass),
  situacao character varying(20),
  hora time without time zone,
  data date,
  rota integer,
  the_geom geometry(Point,4326),
  CONSTRAINT pk_registorota PRIMARY KEY (idregistorota),
  CONSTRAINT fk_rota FOREIGN KEY (rota) REFERENCES tcc."Rota"
(idrota) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO
ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."RegistroRota"
  OWNER TO postgres;
```

- Tabela Rota:

```
-- Table: tcc."Rota"
-- DROP TABLE tcc."Rota";

CREATE TABLE tcc."Rota"
(
  idrota integer NOT NULL DEFAULT
nextval('tcc."Rota_idrota_seq"::regclass),
  situacao character varying(20),
  the_geom geometry(LineString,4326),
  linha integer,
  CONSTRAINT pk_rota PRIMARY KEY (idrota),
  CONSTRAINT fk_linha FOREIGN KEY (linha) REFERENCES tcc."Linha"
(idlinha) MATCH SIMPLE ON UPDATE NO ACTION ON DELETE NO
ACTION
)
WITH (
  OIDS=FALSE
);
ALTER TABLE tcc."Rota"
  OWNER TO postgres;
```

- Procedure Add_RegistroRota:

```
-- Function: tcc.add_registorota(time without time zone, date, integer,
integer, character varying)
-- DROP FUNCTION tcc.add_registorota(time without time zone, date,
integer, integer, character varying);
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION tcc.add_registorota(hora time without
time zone, data date, linhaid integer, horalinha integer, ponto character
varying)
```

```
 RETURNS void AS
$BODY$
 DECLARE
  pontoid integer;
  rotaid integer;
 BEGIN
  ponto = 'POINT('||ponto||')';
  select R.idrota into rotaid from tcc."Rota" as R where R.linha = linhaid
and R.situacao = 'ativo';
  if ((select COUNT(*) FROM tcc."Rota" as R where
((ST_Intersects(R.the_geom,ST_GeomFromText(ponto,4326)) = true) and
(R.idrota = rotaid))) != 0)
  then
    INSERT INTO tcc."RegistroRota"(situacao, hora, data, rota, the_geom)
VALUES ('ok', hora, data, rotaid, ST_GeomFromText(ponto,4326));
    if ((select pp.idpontoparada from tcc."PontoParada_Rota" as ppr,
tcc."PontoParada" as pp where ppr.rota = rotaid and ppr.pontoparada =
pp.idpontoparada and pp.the_geom = ST_GeomFromText(ponto,4326)) is
not null)
    then
      select pp.idpontoparada into pontoid from tcc."PontoParada_Rota" as
ppr, tcc."PontoParada" as pp where ppr.rota = rotaid and ppr.pontoparada =
pp.idpontoparada and pp.the_geom = ST_GeomFromText(ponto,4326);
      PERFORM * from tcc.add_registropontoparada(hora, pontoid,
horalinha);
    end if;
  else
    PERFORM * from tcc.add_logerro(data, hora, rotaid, ponto);
    INSERT INTO tcc."RegistroRota"(situacao, hora, data, rota, the_geom)
VALUES ('erro', hora, data, rotaid, ST_GeomFromText(ponto,4326));
  end if;
 END;
$BODY$
 LANGUAGE plpgsql VOLATILE
 COST 100;
ALTER FUNCTION tcc.add_registorota(time without time zone, date,
integer, integer, character varying)
 OWNER TO postgres;
```

- Procedure Add_RegistroPontoParada:

```

-- Function: tcc.add_registropontoparada(time without time zone, integer,
integer)
-- DROP FUNCTION tcc.add_registropontoparada(time without time zone,
integer, integer);

CREATE OR REPLACE FUNCTION tcc.add_registropontoparada(hmedia
time without time zone, pparada integer, hlinha integer)
  RETURNS void AS
$BODY$
  DECLARE
    horas time without time zone;
  BEGIN
    if ((select rpp.idregistropontoparada from tcc."RegistroPontoParada" as
rpp where rpp.pontoparada = pparada and rpp.horariolinha = hlinha) is not
null)
      then
        CREATE local temporary table tabletemp (
          aDate time
        )ON COMMIT DROP;
        select rpp.horamedia into horas from tcc."RegistroPontoParada" as rpp
where rpp.pontoparada = pparada and rpp.horariolinha = hlinha;
        INSERT INTO tabletemp(aDate) VALUES (hmedia);
        INSERT INTO tabletemp(aDate) VALUES (horas);
        INSERT INTO tabletemp(aDate) VALUES (horas);
        INSERT INTO tabletemp(aDate) VALUES (horas);
        select avg(aDate) into hmedia from tabletemp;
        UPDATE tcc."RegistroPontoParada" SET horamedia = hmedia WHERE
pontoparada = pparada and horariolinha = hlinha;
      else
        INSERT INTO tcc."RegistroPontoParada"(horamedia, pontoparada,
horariolinha) VALUES (hmedia, pparada, hlinha);
      end if;
  END;
$BODY$
LANGUAGE plpgsql VOLATILE
COST 100;
ALTER FUNCTION tcc.add_registropontoparada(time without time zone,
integer, integer)
  OWNER TO postgres;

```

- Procedure Add_LogErro:

```
-- Function: tcc.add_logerro(date, time without time zone, integer, character  
varying)
```

```
-- DROP FUNCTION tcc.add_logerro(date, time without time zone, integer,  
character varying);
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION tcc.add_logerro(data date, hora time  
without time zone, rota integer, ponto character varying)
```

```
    RETURNS void AS
```

```
$BODY$
```

```
    BEGIN
```

```
        INSERT INTO tcc."LogErro"(data, hora, rota, the_geom) VALUES (data,  
hora, rota, ST_GeomFromText(ponto,4326));
```

```
    END;
```

```
$BODY$
```

```
    LANGUAGE plpgsql VOLATILE
```

```
    COST 100;
```

```
ALTER FUNCTION tcc.add_logerro(date, time without time zone, integer,  
character varying)
```

```
    OWNER TO postgres;
```