

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/273458259>

# PREVISÃO DE DEMANDA NA FASE DE PLANEJAMENTO ANTECIPADO DE PROJETOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS: UMA ABORDAGEM POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Thesis · January 2015

DOI: 10.13140/2.1.2065.1049

CITATIONS

0

READS

570

1 author:



[Vagner Sanches Vasconcelos](#)

9 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

SEE PROFILE

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO  
GESTÃO DE PROJETOS**

**PREVISÃO DE DEMANDA NA FASE DE PLANEJAMENTO ANTECIPADO DE  
PROJETOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS: UMA ABORDAGEM POR  
REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS**

**VAGNER SANCHES VASCONCELOS**

São Paulo  
2015

VAGNER SANCHES VASCONCELOS

**PREVISÃO DE DEMANDA NA FASE DE PLANEJAMENTO ANTECIPADO DE  
PROJETOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS: UMA ABORDAGEM POR  
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

**DEMAND FORECAST IN THE FRONT-END PLANNING STAGES PASSENGER  
TRANSPORT PROJECTS: AN APPROACH BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Administração: Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Administração**.

Orientador: Prof. Dr. Filipe Quevedo-Silva

São Paulo  
2015

VAGNER SANCHES VASCONCELOS

**PREVISÃO DE DEMANDA NA FASE DE PLANEJAMENTO ANTECIPADO DE  
PROJETOS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS: UMA ABORDAGEM POR  
REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Administração: Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Administração**, pela Banca Examinadora, formada por:

---

Presidente: Prof. Dr. Filipe Quevedo-Silva – Orientador, UNINOVE

---

Membro: Prof. Dr. Ricardo Leonardo Rovai – UNINOVE

---

Membro: Prof. Dr. Orlando Cattini Junior – FGV

São Paulo, 12 de fevereiro de 2015.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Dirceu e Maria Alice,  
a minha esposa Vânia e ao Vagner Filho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Filipe Quevedo-Silva, pela orientação e pelo constante estímulo e dedicação transmitidos durante todo este trabalho.

Aos professores Dirceu da Silva e Ricardo Leonardo Rovai, pelas valiosas contribuições dadas na etapa de qualificação e na continuação deste trabalho.

A todo o corpo docente e funcionários do programa de Mestrado Profissional em Administração – Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho.

Aos colegas de turma do curso do mestrado, e aos colegas de trabalho do Metrô de São Paulo e da Faculdade de Tecnologia SENAI Mariano Ferraz que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

A toda minha família pela compreensão das longas horas ausentes.

E a você, que faz nova todas as coisas.

Ele não sabia que era impossível. Foi lá e fez.  
(Jean Cocteau/ Mark Twain)

## RESUMO

Considerando que a demanda de passageiros é um dos principais riscos nos empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, este trabalho objetiva validar um modelo de previsão de demanda, baseado em redes neurais artificiais (RNA), de forma a contribuir com a gestão de projetos dessa modalidade de empreendimentos, isso ainda em sua fase de planejamento antecipado do projeto. Para isso, foi utilizado o delineamento do tipo *ex-post facto*, numa pesquisa do tipo descritiva com abordagem quantitativa, onde o grupo de investigação foi formado pelas estações de metrô e de trem da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Os dados para o treinamento, teste e validação do modelo neural de previsão de demanda foram obtidos de fontes secundárias, sendo elas: a Pesquisa de Mobilidade Urbana 2012 na RMSP; e a base de dados de entrada de passageiros nas estações de metrô e trem. Foram propostos 12 arquiteturas de RNA com 15 configurações diferentes, totalizando assim 180 processos de treinamento, teste e validação. Para cada uma das arquiteturas, foi identificado o menor erro médio quadrado percentual (EQM%) obtido; e para a melhor arquitetura, com uma camada oculta, foi realizado a análise de relevância, pelo método de Garson, das 4 variáveis de entrada do modelo: a população; o número de matrículas escolares; o número de empregos; e a renda per capita. Os principais resultados obtidos desta pesquisa demonstram a validade das arquiteturas propostas, que apresentaram EQM% entre 0,045% ~ 0,109%. A contribuição para a prática deste estudo é servir como ferramenta de auxílio das organizações e dos gerentes de projeto nos estudos de viabilidade econômico-financeiro desses empreendimentos, ainda em sua fase de planejamento antecipado, servindo como uma ferramenta de tomada de decisão de investimento.

**Palavras-chaves:** Gerenciamento de Projetos, Planejamento Antecipado do Projeto, Empreendimentos de Transporte de Passageiros Sobre Trilhos, Previsão de Demanda, Redes Neurais Artificiais.



## ABSTRACT

Considering that passenger demand is a major risk in passenger rail infrastructure projects, this study aims to validate a demand forecasting model based on artificial neural networks (ANN), in order to contribute to the project management of this type of projects, it is still in front-end planning of these projects. For this, the design of the type ex-post facto was used in a descriptive research with quantitative approach where the research group was formed by subway and train stations in the metropolitan region of São Paulo (RMSP). The data for training, testing and validation of the neural model demand forecast were obtained from secondary sources, which are: the Urban Mobility Research 2012 in the RMSP; and the data base of entry passenger at subway and train stations. Proposed were 12 architectures of the ANN with 15 different configurations, totaling 180 training processes, testing and validation. For each of the architectures, the lowest mean square error (MSE) obtained was identified; and the best architecture, with a hidden layer was performed relevance analysis by Garson method, the model 4 input variables: the population; the school enrollment; the number of jobs; and per capita income. The main results of this study demonstrate the validity of the proposed architectures, presenting MSE% from 0.045% ~ 0.109%. The practical contribution this study is to serve as an aid tool for organizations and project managers in the study of economic and financial viability of these projects, still in its early planning stages, serving as an investment decision-making tool.

**Key words:** Project Management, Front-End Planning, Project Passenger On Rails, Demand Forecasting, Artificial Neural Networks.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Média aritmética anual dos congestionamentos na cidade de São Paulo.....	20
Figura 2: Constructo Índice de Sofrimento das 20 cidades pesquisadas.....	21
Figura 3: Distribuição do Número de Projetos de PPP no Brasil .....	23
Figura 4: Riscos em projetos de PPP.....	24
Figura 5: Fases do método do planejamento antecipado - FEL.....	26
Figura 6: Modelo Urban Transportation Model System.....	27
Figura 7: Entradas do modelo UTMS e aplicações para sua saída.....	28
Figura 8: RNA Multilayer Perceptron (MLP) típica com uma camada intermediária.....	28
Figura 9: Estrutura conceitual da questão de pesquisa.....	29
Figura 10: Tipo de padrões de gerenciamento de projetos.....	45
Figura 11: Forma simples do modelo Stage-Gate®.....	47
Figura 12: Modelo Stage-Gate® de 1ª Geração.....	48
Figura 13: Modelo Unificado do Planejamento e Desenvolvimento de Produtos.....	49
Figura 14: Ciclo de vida genérico dos empreendimentos com os portões de decisões.....	50
Figura 15: Fases de planejamento e execução de um empreendimento.....	55
Figura 16: O ciclo de vida de um empreendimento.....	56
Figura 17: Exemplo do Escopo de Contratação.....	57
Figura 18: Diagrama de Entrada/Saída de definição do business case.....	58
Figura 19: Etapas do business case no PRINCE2TM.....	61
Figura 20: Desenvolver o Termo de Abertura do Projeto.....	62
Figura 21: Processo de formação das PPP.....	74
Figura 22: Tempos típicos dos empreendimentos de expansão do Metrô.....	76
Figura 23: Componentes e inter-relações em um sistema de transporte público.....	77
Figura 24: Sistemas de Controle Ferroviário.....	78
Figura 25: Subsistemas de um sistema de controle ferroviário.....	80
Figura 26: Estrutura racional para a tomada de decisão de planejamento de transportes.....	83
Figura 27: Modelo Clássico de Transporte Quatro Etapas.....	89
Figura 28: Neurônio MCP.....	98
Figura 29: Representação de uma rede MLP.....	99
Figura 30: 31 zonas de tráfego da Pesquisa de Mobilidade 2012.....	125
Figura 31: Percentual de viagens diárias na RMSP em função dos motivos .....	127
Figura 32: Função logística com vários fatores de suavização.....	139
Figura 33: Erro x Época da melhor Arq-01.....	147
Figura 34: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-01.....	147

Figura 35: Erro x Época da melhor Arq-02.....	149
Figura 36: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-02.....	149
Figura 37: Erro x Época da melhor Arq-03.....	150
Figura 38: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-03.....	150
Figura 39: Erro x Época da melhor Arq-04.....	152
Figura 40: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-04.....	152
Figura 41: Erro x Época da melhor Arq-05.....	153
Figura 42: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-05.....	153
Figura 43: Erro x Época da melhor Arq-06.....	155
Figura 44: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-06.....	155
Figura 45: Erro x Época da melhor Arq-07.....	156
Figura 46: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-07.....	156
Figura 47: Erro x Época da melhor Arq-08.....	158
Figura 48: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-08.....	158
Figura 49: Erro x Época da melhor Arq-09.....	159
Figura 50: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-09.....	159
Figura 51: Erro x Época da melhor Arq-10.....	161
Figura 52: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-10.....	161
Figura 53: Erro x Época da melhor Arq-11.....	162
Figura 54: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-11.....	162
Figura 55: Erro x Época da melhor Arq-12.....	164
Figura 56: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-12.....	164
Figura 57: Arq-03 - $N = [4, 2, 1]$ com os pesos e bias.....	166
Figura 58: Relevâncias das variáveis de entradas, segundo método de Garson.....	169
Figura 59: Erro x Época da melhor Arq-31.....	170
Figura 60: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-31.....	170
Figura 61: Erro x Época da melhor Arq-32.....	170
Figura 62: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-32.....	170

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos projetos e suas características.....	35
Quadro 2: Medidas específicas de sucesso do projeto.....	38
Quadro 3: Algumas visões sobre complexidade.....	40
Quadro 4: Principais associações de gerenciamento de projetos.....	43
Quadro 5: Críticas ao modelo Stage-Gate®.....	48
Quadro 6: Nomes típicos das fases do FEL.....	52
Quadro 7: Terminologias do Planejamento Antecipado.....	53
Quadro 8: Fases, objetivos e tarefas da metodologia FEL na mineradora Vale.....	54
Quadro 9: Entradas, técnicas e interessados no business case.....	59
Quadro 10: Quadro resumo do eixo teórico Gerenciamento de Projetos.....	72
Quadro 11: Estimativa do tamanho da amostra.....	86
Quadro 12: Quadro resumo do eixo teórico Projetos de Infraestrutura.....	95
Quadro 13: Aplicações de RNA na área de Transportes.....	105
Quadro 14: Quadro resumo do polo teórico Redes Neurais Artificiais.....	114
Quadro 15: Quadro resumo das classificações da pesquisa.....	122
Quadro 16: Linhas e Estações de metrô e trem metropolitano.....	123
Quadro 17: Distritos e Municípios por zona.....	126
Quadro 18: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 1.....	130
Quadro 19: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 2.....	130
Quadro 20: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 4.....	131
Quadro 21: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 5.....	131
Quadro 22: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 6.....	131
Quadro 23: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 7.....	131
Quadro 24: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 8.....	131
Quadro 25: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 9.....	132
Quadro 26: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 10.....	132
Quadro 27: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 11.....	132
Quadro 28: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 13.....	132
Quadro 29: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 14.....	132
Quadro 30: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 15.....	132
Quadro 31: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 16.....	133
Quadro 32: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 17.....	133
Quadro 33: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 18.....	133
Quadro 34: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 19.....	133

Quadro 35: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 20.....	133
Quadro 36: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 21.....	134
Quadro 37: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 22.....	134
Quadro 38: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 23.....	134
Quadro 39: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 24.....	134
Quadro 40: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 26.....	134
Quadro 41: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 27.....	135
Quadro 42: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 31.....	135
Quadro 43: Matriz de amarração metodológica (Matriz de Mazzon).....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual de viagens/dia por modo e renda.....	128
Tabela 2: População, amostras e períodos da PMU-RMSP .....	129
Tabela 3: Dados normalizados das zonas de tráfego 1 até 15.....	143
Tabela 4: Dados normalizados das zonas de tráfego 16 até 31.....	144
Tabela 5: Grupos de dados de treinamento, teste e validação.....	144
Tabela 6: Valores reais da demanda normalizados .....	146
Tabela 7: Arq-01 – Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	146
Tabela 8: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-01.....	147
Tabela 9: Arq-02 – Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	148
Tabela 10: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-02.....	148
Tabela 11: Arq-03– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	149
Tabela 12: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-03.....	150
Tabela 13: Arq-04– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	150
Tabela 14: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-04.....	151
Tabela 15: Arq-05– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	152
Tabela 16: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-05.....	153
Tabela 17: Arq-06– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	154
Tabela 18: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-06.....	154
Tabela 19: Arq-07– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	155
Tabela 20: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-07.....	156
Tabela 21: Arq-08– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	156
Tabela 22: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-08.....	157
Tabela 23: Arq-09– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	158
Tabela 24: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-09.....	159
Tabela 25: Arq-10– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	159
Tabela 26: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-10.....	160
Tabela 27: Arq-11– Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.....	161

Tabela 28: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-11.....	162
Tabela 29: Arq-12– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.....	162
Tabela 30: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-12.....	163
Tabela 31: Resumo dos melhores resultados obtidos ordenados pelo EQM%.....	164
Tabela 32: Resumo dos melhores resultados obtidos ordenados pelo r.....	165
Tabela 33: Pesos das conexões da Arq-03.....	166
Tabela 34: Bias das camadas escondidas e da saída da Arq-03.....	167
Tabela 35: Cálculo das contribuições das entradas na saída para a Arq-03.....	167
Tabela 36: Contribuição relativa de cada neurônio da Arq-03.....	167
Tabela 37: Resumo dos resultados obtidos para as novas arquiteturas.....	169
Tabela 38: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-31.....	169
Tabela 39: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-32.....	170

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Taxa de Aprendizagem
ATC	<i>Automatic Train Control</i>
ATO	<i>Automatic Train Operation</i>
ATP	<i>Automatic Train Protection</i>
ATS	<i>Automatic Train Supervision</i>
BoK	<i>Body of Knowledge</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CBTC	<i>Communication Based Train Control</i>
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
EEF	Equilíbrio Econômico-Financeiro
EQM	Erro Quadrático Médio
EQM%	Erro Quadrático Médio Percentual
EVEF	Estudo de Viabilidade Econômico-Financeiro
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
FEL	<i>Front-End Loading</i>
GP	Gerenciamento de Projetos
IPMA	<i>International Project Management Association</i>
M	Momento
Metrô	Companhia do Metropolitano de São Paulo
MLP	<i>Multilayer Perceptron</i>
MPA-GP	Mestrado Profissional em Administração Gestão de Projetos
O/D	Origem/Destino
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PMU-RMSP	Pesquisa de Mobilidade Urbana da Região Metropolitana de São Paulo
PPP	Parceria Público-Privada
RMSP	Região Metropolitana da Cidade de São Paulo
RNA	Redes Neurais Artificiais
TAP	Termo de Abertura do Projeto
UTMS	<i>Urban Transportation Model System</i>
VPL	Valor Presente Líquido
WBS	Estrutura Analítica do Projeto ( <i>Work Breakdown Structure</i> )



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	18
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	25
1.3 QUESTÃO PRINCIPAL DE PESQUISA.....	29
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	29
1.4.1 Objetivo Geral.....	30
1.4.2 Objetivos Específicos.....	30
1.4.3 Contribuições Práticas.....	30
1.5 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO DO TEMA.....	30
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	32
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	34
2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS.....	34
2.1.1 Projetos.....	34
2.1.2 Projetos complexos.....	39
2.1.3 Gerenciamento de Projetos.....	41
2.1.3.1 Metodologias e boas práticas de gerenciamento de projetos.....	42
2.1.3.2 Planejamento Antecipado do Projeto – FEL.....	45
2.1.3.3 Análise do negócio – FEL -1.....	58
2.1.3.4 Risco em projetos.....	64
2.1.3.5 Modelagem econômico-financeira de projetos.....	66
2.1.4 Quadro resumo do eixo teórico Gerenciamento de Projetos.....	68
2.2 PROJETOS DE INFRAESTRUTURA.....	72
2.2.1 Transporte de Passageiros sobre Trilhos.....	75
2.2.2 Riscos em empreendimentos de transporte de passageiros.....	81
2.2.3 Demanda de passageiros.....	82
2.2.3.1 Coleta dos dados.....	84

2.2.3.2 Delimitação da área de estudo e zoneamento.....	84
2.2.3.3 Métodos de levantamento de dados.....	85
2.2.3.4 Estimativas da amostra.....	86
2.2.3.5 Tipos de informações.....	87
2.2.3.6 Formas de pesquisas.....	87
2.2.4 O modelo UTMS.....	88
2.2.4.1 Geração de viagens.....	89
2.2.4.2 Distribuição de Viagens.....	91
2.2.4.3 Escolha/Divisão modal.....	92
2.2.4.4 Alocação de Fluxo.....	93
2.2.5 Quadro resumo do eixo teórico Projetos de Infraestrutura.....	94
2.3 REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS.....	95
2.3.1 Principais arquiteturas de RNAs.....	97
2.3.2 Aspectos históricos.....	99
2.3.3 Aplicações.....	101
2.3.4 Quadro resumo do eixo teórico Redes Neurais Artificiais.....	112
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	115
3.1 A METODOLOGIA CIENTÍFICA.....	115
3.2 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA.....	117
3.2.1 Classificação com relação à natureza da pesquisa.....	117
3.2.2 Classificação com relação aos objetivos gerais da pesquisa.....	118
3.2.3 Classificação com relação ao delineamento da pesquisa.....	118
3.2.4 Classificação com relação aos tipos de dados.....	119
3.2.5 Classificação com relação ao instrumento de coleta de dados.....	121
3.2.6 Quadro resumo da classificação da pesquisa.....	121
3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	122
3.3.1 Localização dos grupos para a investigação.....	122
3.3.2 Coleta de dados.....	123
3.3.2.1 A pesquisa de Mobilidade Urbana.....	123
3.3.2.2 Variáveis independentes.....	126
3.3.2.3 Variável dependente.....	128
3.3.3 Análise e interpretação dos dados.....	135
3.3.3.1 Pré-processamento dos dados.....	136
3.3.3.2 Configuração das RNAs.....	137

3.3.3.3 Treinamento, teste e validação da RNA.....	140
3.3.4 Matriz de Amarração Metodológica.....	141
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	143
4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	143
4.1.1 Normalização dos Dados.....	143
4.1.2 Grupos de Dados.....	144
4.2 TREINAMENTO, TESTE E VALIDAÇÃO DAS RNA.....	145
4.2.1 Arquitetura 01 (Arq-01 – N= 4, 3, 1).....	146
4.2.2 Arquitetura 02 (Arq-02 – N=4, 9, 1).....	148
4.2.3 Arquitetura 03 (Arq-03 – N= 4, 2, 1).....	149
4.2.4 Arquitetura 04 (Arq-04 – N= 4, 5, 1).....	150
4.2.5 Arquitetura 05 (Arq-05 – N= 4, 3, 2, 1).....	152
4.2.6 Arquitetura 06 (Arq-06 – N= 4, 9, 5, 1).....	154
4.2.7 Arquitetura 07 (Arq-07 – N= 4, 2, 1, 1).....	155
4.2.8 Arquitetura 08 (Arq-08 – N= 4, 5, 3, 1).....	156
4.2.9 Arquitetura 09 (Arq-09 – N= 4, 3, 6, 1).....	158
4.2.10 Arquitetura 10 (Arq-10 – N= 4, 9, 18, 1).....	159
4.2.11 Arquitetura 11 (Arq-11 – N= 4, 2, 4, 1).....	161
4.2.12 Arquitetura 12 (Arq-12 – N= 4, 5, 10, 1).....	162
4.3 RESUMO DOS MELHORES RESULTADOS OBTIDOS.....	164
4.4 MÉTODO DE GARSON.....	166
4.4.1 Passo 1: Cálculo das contribuições das entradas na saída.....	167
4.4.2 Passo 2: Cálculo da contribuição relativa de cada neurônio.....	167
4.4.3 Passo 3: Cálculo da importância relativa de cada entrada.....	168
4.5 NOVAS REDES COM VARIÁVEIS MAIS RELEVANTES.....	168
5 CONCLUSÃO.....	171
5.1 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	171
5.2 CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA.....	173
REFERÊNCIAS.....	175
ANEXOS.....	188
APENDICE.....	192

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o polo epistemológico deste trabalho, onde são tratados o assunto, o tema e o foco da pesquisa, realizando assim sua contextualização e problematização. São apresentados: a questão principal de pesquisa; o objetivo geral e os objetivos específicos; a justificativa para o estudo do tema, com suas possíveis contribuições para a prática; e, por fim, a estrutura do trabalho.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em um país com dimensões continentais como o Brasil a infraestrutura de transportes é fundamental para o desenvolvimento e eficiência de toda a economia. (Padula, 2008). Pastori (2007) relaciona o estímulo do desenvolvimento e bem-estar social de uma sociedade com os projetos de infraestrutura de transportes e logística, sendo que esses podem contribuir para o crescimento sustentável das cidades e regiões. Alinhada com essa ideia, Campos (2013) cita a visão da sustentabilidade urbana dos sistemas de transporte, onde a oferta desses deve ocorrer de forma viável, simultaneamente, na esfera social, ambiental e econômica; isso, em níveis que melhorem a qualidade de vida das pessoas.

A falta de planejamento e a priorização ao transporte público levam ao caos urbano nos transportes, e ao crescimento do número de automóveis, aumentando os índices de congestionamento e a poluição. (Padula, 2008). Nessa mesma linha, Resende e Sousa (2009) afirmam que a ausência e/ou deficiência dos sistemas de transporte afetam a economia do país e as pessoas.

Uma abrangente pesquisa realizada em 1998 em 10 cidades brasileiras precificou os custos anuais devido aos congestionamentos, referentes às perdas: i) de tempo; ii) de consumo de combustível; iii) por emissão de poluentes; e iv) por necessidade de área viária. Os resultados, atualizado para o ano de 2014, mostram que essas deseconomias chegaram a cerca de R\$ 1,37<sup>1</sup> trilhões; sendo que, das 10 cidades pesquisadas, São Paulo foi a responsável por

---

1 O resultado da deseconomia apurado na pesquisa em 1998 foi atualizado por Vasconcellos (2006) por meio do IPCA chegando a R\$ 840 milhões em 2005. Esse valor foi atualizado pelo autor desta obra, usando o IGP-M para julho de 2014, chegando ao valor apresentado no texto.

70% dessas deseconomias. (Vasconcellos, 2006; Vasconcellos & Lima, 1998).

Em uma lógica inversa, a Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô) valorou os benefícios da sua rede de transporte à região metropolitana da cidade de São Paulo (RMSP), buscando quantificar a economia gerada por investimentos em transporte público. Os dados que constam no relatório de sustentabilidade da empresa consideraram para a precificação as seguintes variáveis: i) redução de horas de viagens; ii) consumo de combustíveis; iii) poluição; iv) acidentes; v) custo operacional dos veículos (automóveis e ônibus); e vi) manutenção e operação das vias de ônibus; chegando em R\$ 7,2 bilhões anuais os benefícios para a cidade e seus habitantes. (Metrô, 2012). Na mesma linha da pesquisa do Metrô, quantificar os benefícios do investimento em transporte público, Silva, Saldiva, Amato-Lourenço, Rodrigues-Silva e Miraglia (2012) mediram os efeitos da poluição atmosférica associados a doenças cardiorrespiratórias na cidade de São Paulo, nos anos de 2003 e 2006, durante os períodos de greve do sistema de metrô dessa cidade. Isso permitiu a comparação dos índices de poluição – material particulado atmosférico  $MP_{10}$  – e das mortes por problemas cardiorrespiratórios, nos cenários com e sem o sistema de metrô operando; a pesquisa evidenciou que, em média, sem a operação do metrô, a concentração de  $MP_{10}$  aumentou 52,5%, acarretando um aumento no número de mortes por problemas cardiorrespiratórios, precificados em U\$ 18,5 bilhões em 2003 e U\$ 13,3 bilhões em 2006.

Mesmo com os benefícios comprovados no investimento em transporte público, em geral, as cidades brasileiras não vêm investindo a contento nesses sistemas. De acordo com a pesquisa realizada por Resende e Sousa (2009), entre os anos de 2005 a 2008 – em quatro grandes capitais: São Paulo; Rio de Janeiro; Belo Horizonte; e Porto Alegre – os índices de congestionamento aumentaram em todas elas, em uma taxa maior que 10% ao ano. Na cidade de São Paulo, a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), mede diariamente os índices de congestionamento nos períodos da manhã e da tarde. A Figura 1 apresenta as médias anuais desses índices – nos dois períodos de medição diária – entre os anos de 1995 a 2013. Conforme essa figura, entre os anos de 2003 a 2008, os índices de congestionamento são crescentes, corroborando com a pesquisa de Resende e Sousa (2009). No entanto, entre os anos de 2008 a 2011, esses índices passam a cair, parecendo, em uma primeira análise, que houve uma melhoria no sistema de transporte público nesse período. Contudo, isso se deu por severas restrições ao tráfego de caminhões, por meio do decreto municipal nº 49.487, de 12 de maio de 2008; a partir de 2011, novamente os índices de congestionamento voltaram a subir,

anulando assim, os efeitos das restrições ao tráfego dos caminhões.

Resende e Sousa (2009) mostraram em sua pesquisa que o problema do trânsito é generalizado nas grandes cidades brasileiras. Mas seria esse um problema exclusivamente brasileiro? A empresa IBM® realizou em 2010 uma pesquisa, entrevistando 8.192 motoristas em 20 cidades, em todos os continentes, revelando que a maioria dos entrevistados afirmara que o tráfego piorou nos três anos anteriores a pesquisa. Para esses pesquisadores, o congestionamento é um fenômeno relativamente recente em muitas cidades em desenvolvimento, estando relacionado com o crescimento econômico delas nas últimas décadas. (IBM, 2010). Assim, o fenômeno dos congestionamentos parece não ser um problema exclusivamente das cidades brasileiras.

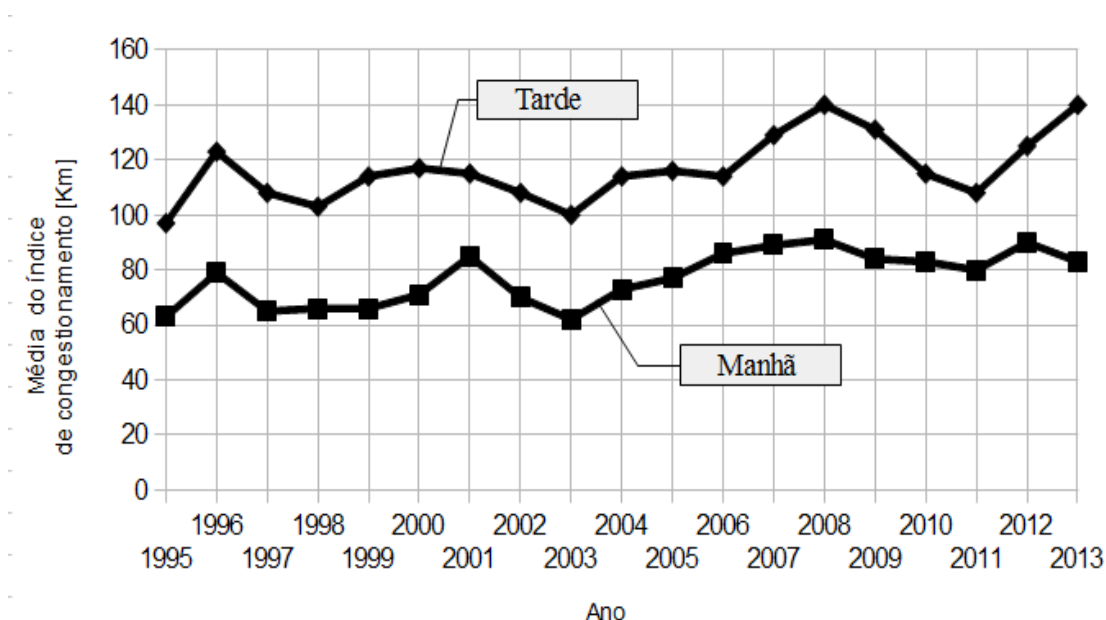


Figura 1: Média aritmética anual dos congestionamentos na cidade de São Paulo, nos horários de pico.  
Frequência: Anual de 1995 até 2013. Unidade: quilômetros

Fonte: Adaptado pelo autor da CET.

A pesquisa IBM (2010) buscou identificar os efeitos do trânsito na saúde e no desempenho das pessoas; encontrando, entre outros, os seguintes achados:

(a) 14% dos respondentes da cidade de São Paulo trabalhariam por mais tempo se o tempo de deslocamento até o trabalho fosse menor. Já para os respondentes de Nova Deli este percentual foi de 40%, enquanto para os de Madri 5%;

(b) 57% dos entrevistados disseram que o trânsito afetou negativamente a sua saúde, sendo que, para os respondentes de Pequim e Nova Deli, estes percentuais foram de 95% e 96% respectivamente;

(c) 29% dos respondentes associaram um efeito negativo do trânsito em seus desempenhos, seja escolar ou profissional. Contudo, nas cidades de Pequim, Nova Deli e Cidade do México, esses percentuais subiram para 84%, 62% e 56% respectivamente.

Os pesquisadores criaram ainda um constructo que quantifica a carga emocional e econômica aos motoristas – chamado de Índice de Sofrimento (*Commuter Pain Index*). Esse constructo foi formado pelas seguintes respostas da pesquisa: i) o tempo de deslocamento gasto; ii) o tempo preso no trânsito; iii) o valor do tempo gasto no trânsito; concordâncias que: iv) o trânsito piorou; v) parar no trânsito é um problema; vi) dirigir causa estresse; vii) dirigir causa raiva; viii) o trânsito afeta o trabalho; ix) é ruim dirigir no trânsito parado; e x) desistiu de fazer a viagem devido ao trânsito. Na sequência, classificaram cada uma das cidades pesquisadas, sendo que, quanto maior a sua nota, maior o índice de sofrimento das pessoas para o deslocamento ao trabalho. A Figura 2 apresenta os índices de sofrimento para cada uma das 20 cidades pesquisadas; nela se observa a cidade de São Paulo na sexta pior condição, sendo ainda, as outras cinco piores pertencentes a países em desenvolvimento, evidenciando assim, que o problema do trânsito não é exclusividade do Brasil.

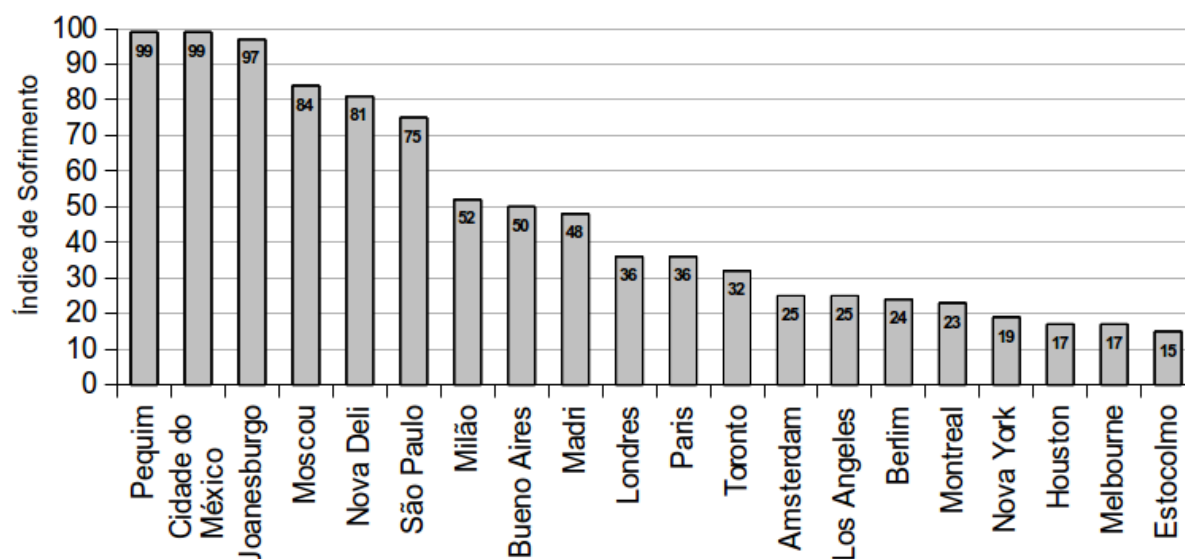


Figura 2: Constructo Índice de Sofrimento das 20 cidades pesquisadas. Unidades: 0 – 100, sendo que, quanto maior o índice, pior será a qualidade de vida dos motoristas desta cidade.

Fonte: Adaptado pelo autor de IBM (2010).

Em geral, a sociedade brasileira vive no seu dia a dia a falta e/ou a deficiência no transporte público; isso foi evidenciado nas manifestações presenciadas em todo o país, em junho de 2013. Esse fato foi captado pela pesquisa encomendada pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT), que entrevistou 1.008 pessoas, em 99 municípios brasileiros de todas

as regiões. A pesquisa apurou que 75% dos entrevistados aprovaram as manifestações, e que 77% desses consideraram o transporte público como o principal motivo dos protestos. (CNT, 2013).

Uma das formas de diminuição dos congestionamentos é o investimento em infraestrutura de transporte, contudo, com relação aos empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, Alvim, Bilt e Darido (2010) afirmam que a taxa de construção não vem atendendo a demanda necessária, acarretando uma maior lotação nos sistemas existentes, e ainda um aumento significativo nos níveis de congestionamento no trânsito nas principais regiões metropolitanas brasileiras. Tentando atrair o setor privado de forma a aumentar o volume de investimentos na infraestrutura do país, o governo federal brasileiro lançou em 2004 a Lei nº 11.079, que trata das Parcerias Público-Privada (PPP). (Talamini & Justen, 2005). Ações conjuntas entre os setores público e privado podem impulsionar os empreendimentos de infraestrutura; contudo, normalmente, envolvem grandes investimentos e riscos. (Willoughby, 2013). No Brasil, um dos objetivos das PPP é viabilizar empreendimentos de infraestrutura que não são atraentes, a priori, para a iniciativa privada em consequência dos riscos envolvidos. (Saraiva, 2008).

Pastori (2007) afirma que as PPP são uma alternativa de estruturação de projetos quando o poder público não pode contribuir com a parcela que lhe compete. Cabendo ao parceiro privado a responsabilidade, parcial ou até total, pelos investimentos. Particularmente à realidade brasileira, Pastori (2007, p. 1) afirma com relação às PPP que:

[...] também é indicada para o caso de projetos de infra-estrutura [*sic*] com pouca ou nenhuma autossustentabilidade; ou seja, àqueles que, se implantados e operados única e exclusivamente pela iniciativa privada certamente não lograrão obter o retorno desejado. Essa possibilidade pode ocorrer quando a previsão de geração de receita operacional proporcionada pelo projeto se mostra insuficiente para promover o Equilíbrio Econômico-Financeiro (EEF) do empreendimento e, conseqüentemente, sem o retorno adequado aos acionistas detentores do investimento privado. Portanto, a PPP surge como um estimulante ao investidor privado para efetivação de investimentos públicos, na medida em que poderá contribuir para o projeto atingir o EEF, através do compartilhamento de certos riscos entre os parceiros.

Apesar de toda a insatisfação da população com o sistema de transporte e do desejo do governo em aumentar a participação da iniciativa privada na implementação de projetos de infraestrutura com as PPP, Thamer (2013) pesquisou – desde 2004, quando da promulgação da Lei das PPP, até fevereiro de 2013 – por projetos no Brasil que tiveram algum tipo de



iniciativa de estudo e modelagem na modalidade de PPP; foram identificados 177 projetos, distribuídos em 18 estados e no Distrito Federal, sendo que, somente 14 deles (7,91% do total) obtiveram sucesso, isto é, o contrato foi assinado. A Figura 3 apresenta os 177 projetos pesquisados, distribuídos em suas fases pré-contratuais. O autor excluiu da amostra os projetos direcionados à Copa do Mundo de 2014, visto que, o processo pré-contratual desses projetos foi acelerado em função dos prazos impostos pelos organizadores do evento e por utilizarem o Regime Diferenciado de Contratações (Lei Federal nº 12.462/2011), que vale apenas para as licitações e contratos para obras da Copa do Mundo de 2014 e para a Olimpíada de 2016.

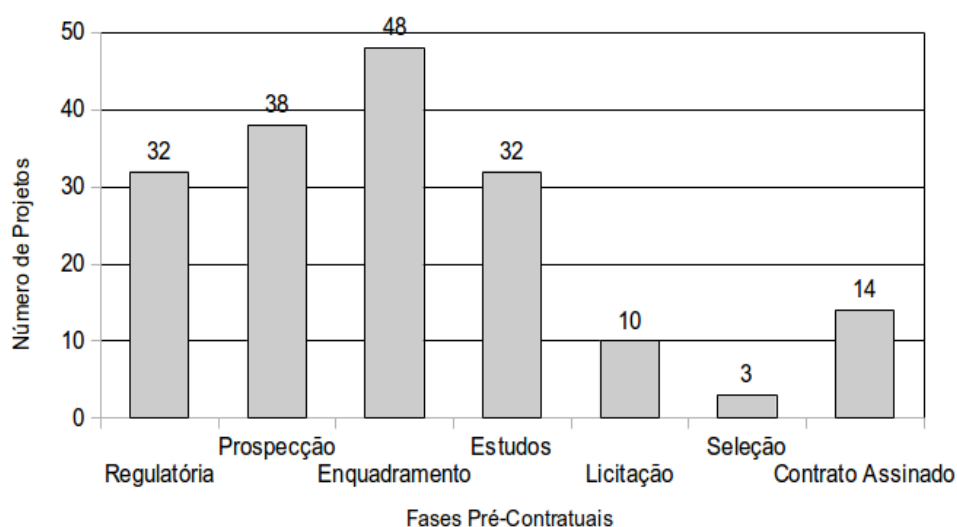


Figura 3: Distribuição do Número de Projetos de PPP no Brasil nas fases pré-contratuais do projeto.

Fonte: Adaptado pelo autor de Thamer (2013).

Os projetos de infraestrutura, segundo Brandão e Saraiva (2007), são afetados fortemente por considerações políticas e regulatórias; isso ocorre devido ao grande volume de recursos e prazos de maturação, e ainda por cobrirem serviços considerados essenciais à sociedade. Assim, para a iniciativa privada investir em projetos dessa modalidade, o conhecimento e mitigação dos riscos são fundamentais.

Para Bonomi e Malvessi (2008), um dos principais processos na realização de um empreendimento é conhecer e dimensionar os seus riscos de forma a quantificá-los e estabelecer instrumentos de mitigação. Neste mesmo sentido, Pollio (1999 como citado em Campos & Gomes, 2005, p. 109) afirma que uma das atividades primordiais para a

implementação de um *project finance*<sup>2</sup> ou de um *green field project*<sup>3</sup> é conhecer e dimensionar os riscos do empreendimento e, a partir daí, procurar quantificá-los de forma a mitigá-los de forma eficaz.

Especificamente em projetos de PPP, apresentado por Brandão, Bastian-Pinto, Gomes e Salgado (2012, p. 11) como uma modalidade de contrato onde o risco do projeto pode ser mitigado por formas de apoio governamental, tais como: i) pagamentos de contraprestações; ii) garantias de demanda; iii) garantia de taxa de câmbio; e iv) garantia de retorno do investimento; Grilo, Melhado, Silva, Hardcastle e Junior (2004) identificaram os riscos apresentados na Figura 4. Contudo, especificamente na área ferroviária, Flyvbjerg (2007) analisou 22 projetos – implantados em todo o mundo desde 1966 – constatando que em  $\frac{3}{4}$  desses a demanda real de passageiros não alcançou 40% da demanda estimada. Indo ao encontro deste achado, quatro trabalhos na área de projetos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, desenvolvidos no Brasil, também identificaram o risco da demanda de passageiros como um dos principais riscos nesta modalidade de projetos, são eles:

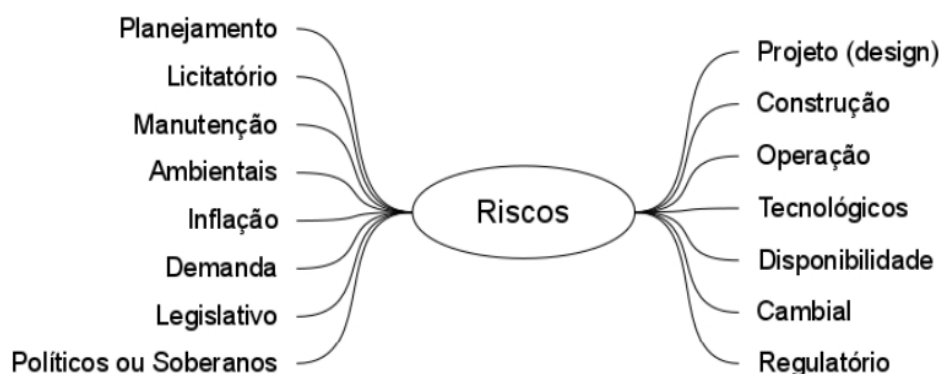


Figura 4: Riscos em projetos de PPP.

Fonte: Adaptado pelo autor de Grilo et al. (2004)

(a) Incentivos governamentais em PPP: uma análise por opções reais; que analisa a Linha 4 – Amarela do Metrô de São Paulo. (Brandão et al., 2012);

(b) Uso da teoria de opções reais para valoração de garantias governamentais em projetos de infraestrutura: uma aplicação no caso do trem de alta velocidade entre Rio de

2 *Project finance* pode ser definido como a implantação de um empreendimento, em que os emprestadores se baseiam, como fonte para repagamento de seus empréstimos, nos ganhos econômicos e financeiros do empreendimento pelo fluxo de caixa. Assim, os contratos, por suas abrangências, mais que os ativos do empreendimento, se constituem como a verdadeira garantia colateral dos tomadores de empréstimo. (Moreira, 1999 como citado em Campos & Gomes, 2005).

3 *Green field project* é um tipo de projeto que pode ser caracterizado como um empreendimento completamente novo, que ainda se encontra em fase pré-operacional de estudo desenvolvimento. (Bononi, 2001 como citado em Campos & Gomes, 2005).

Janeiro e São Paulo. (Massa, 2011);

(c) Uso de opções reais para precificação das garantias de contratos: o Caso do Expresso Aeroporto; projeto da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) que ligaria a região central da cidade de São Paulo ao aeroporto internacional de São Paulo em Guarulhos. (Oliveira & Carvalho, 2008);

(d) Avaliação de risco no transporte urbano: uma aplicação ao Metrô do Rio de Janeiro; que trata da Linha 3 do Metrô Carioca. (Campos & Gomes, 2005).

## 1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Como visto anteriormente, o problema dos congestionamentos tem consequências na saúde e bem-estar da população e impactos econômicos negativos para o país; as PPP são uma iniciativa governamental para tentar viabilizar mais empreendimentos de infraestrutura, mas o investimento nesses projetos necessitam de grandes recursos financeiros e possuem elevado grau de risco. Assim, o parceiro privado carece de critérios rígidos para a tomada de decisão de investimento.

Uma das formas mais utilizadas para analisar a decisão de investimento é a metodologia do fluxo de caixa descontado (FCD). (Titman & Martin, 2010; Graham & Harvey, 2002). Nela, é necessário, entre outras coisas, a apuração da receita operacional do empreendimento, que no caso dos projetos de infraestrutura de transporte de passageiros depende diretamente da demanda de usuários e do preço pago pela passagem; assim, prever a demanda de passageiros é fundamental para tomada de decisão de investimento nesses empreendimentos. Segundo Davis, Chase e Aquilano (2001), a previsão de demanda é reconhecida pelas empresas como um importante instrumento de planejamento, em todos os níveis organizacionais, indo do plano operacional ao estratégico.

Especificamente na área de transporte, Campos (2013) destaca a necessidade da realização de uma estimativa de demanda, de forma a subsidiar a tomada de decisão na escolha das melhores alternativas de transporte para atender às necessidades da população de uma região. Nesta mesma linha, Laiza, Duarte, Silva, Rubira e Bueno (2008, p. 122) afirmam com relação aos estudos de previsão de demanda:

[...] são uma etapa fundamental na elaboração de empreendimentos de

transporte, pois fornecem as informações necessárias na elaboração dos projetos e na escolha de alternativas.

Flyvbjerg (2013) enfatiza a importância da previsão de demanda de passageiros para os gerentes de projetos e tomadores de decisão, uma vez que ela influencia os custos de investimento de capital (CAPEX) e de operação e manutenção (OPEX), além dos riscos da receita operacional do empreendimento, isto é, o seu fluxo de caixa; assim, já na fase de planejamento antecipado (FEL) ela deve ser considerada. Corroborando com isso, Assis (2012, p. 5) afirma que “a análise técnico-econômica de projetos nos estágios iniciais é de relevante importância e contribui para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis na Engenharia de Projetos”. Nessa mesma linha, Motta (2013) trata da importância da fase de concepção dos projetos e aborda o método do planejamento antecipado (*Front-End Loading – FEL*) como um elemento chave para o sucesso de um projeto.

Esse método é dividido em três fases, conforme a Figura 5, onde a primeira delas tem como meta definir os objetivos do negócio, identificando oportunidades de investimento e desenvolvendo alternativas de soluções, conforme Motta (2013, p. 61):

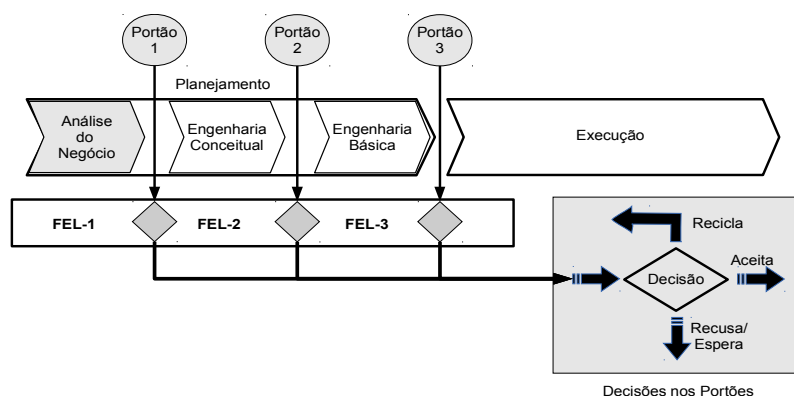


Figura 5: Fases do método do planejamento antecipado - FEL.

Fonte: Adaptado pelo autor de Merrow (2011).

Nesta fase são iniciados o desenvolvimento do plano de negócio, a avaliação econômica, a previsão de mercado, os estudos competitivos e as estimativas iniciais de custo. É uma etapa de criação de valor.

Moraes (2010) também cita a importância dos processos de gestão de projetos ainda nas etapas iniciais dos megaempreendimentos (projetos de capital), visto que, é nesta fase onde serão desenvolvidos: i) os estudos estratégicos e a definição da viabilidade e atratividade do negócio; ii) a definição preliminar dos custos e do capital para o investimento – CAPEX; iii) a gestão dos riscos; e iv) a análise preliminar das alternativas de engenharia para o

empreendimento.

Existem várias técnicas de previsão de demanda, Fouto, de Angelo, Zwicker e Luppe (2011) afirmam que elas são complementares, e as áreas de planejamento das organizações mesclam diferentes abordagens de forma a obterem os melhores resultados. Na área de planejamento de transportes, um conjunto de modelos normalmente utilizados para a predição da demanda é o modelo *Urban Transportation Model System* (UTMS), apresentado na Figura 6, também conhecido como modelo: Clássico de Transportes; Quatro Etapas; e ainda Sequencial. (Eric, 1995; Laiza et al., 2008).

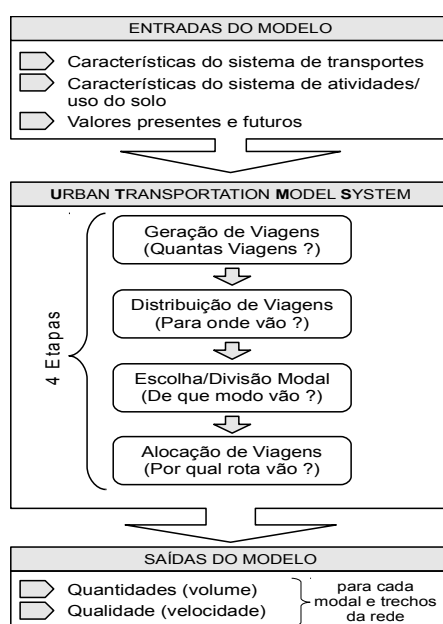


Figura 6: Modelo *Urban Transportation Model System*.

Fonte: Adaptado pelo autor de Eric (1995).

A Figura 7 ilustra as entradas utilizadas nesse modelo e a utilização de sua saída, a demanda de passageiros, em várias áreas do planejamento e projeto de empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros, com destaque para o estudo de viabilidade econômico-financeiro (EVEF).

Dentre as várias técnicas de previsão desenvolvidas, as redes neurais artificiais (RNA) têm sido apontadas como eficientes e sendo apresentadas como alternativas de modelagem em diversas áreas do conhecimento. (Corrêa, 2008). Comparando a abordagem das RNA com as das outras técnicas de análise multivariadas de dados, Hair, Anderson, Tatham e Black (2005) afirmam que enquanto as últimas caracterizam os problemas em uma abordagem matemática, as RNA usam uma estrutura de aprendizagem, similar ao cérebro humano, desenvolvendo uma estratégia de processamento paralelo, onde os erros de saída realimentam o sistema de

forma a ajustá-lo adequadamente. Corrêa (2008, p. 9) afirma que:

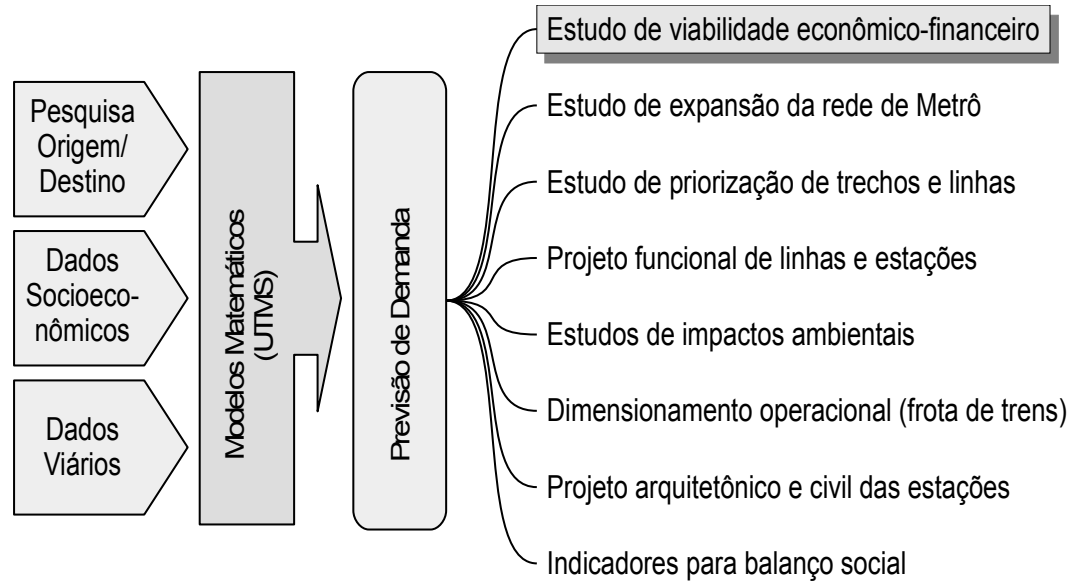


Figura 7: Entradas do modelo UTMS e aplicações para sua saída

Fonte: Adaptado pelo autor de Laiza et al. (2008).

As Redes Neurais Artificiais são utilizadas nas mais diversas áreas de aplicação como previsão, classificação, otimização, controle e outros, com intuito de solucionar problemas recorrentes no setor de transportes.

A Figura 8 apresenta uma RNA com: três entradas; uma camada intermediária (escondida/oculta) com quatro neurônios; e duas saídas. No exemplo em questão, quando da entrada dos valores binários 1, 0 e 0, tem-se nas saídas, também binárias, 1 e 0.

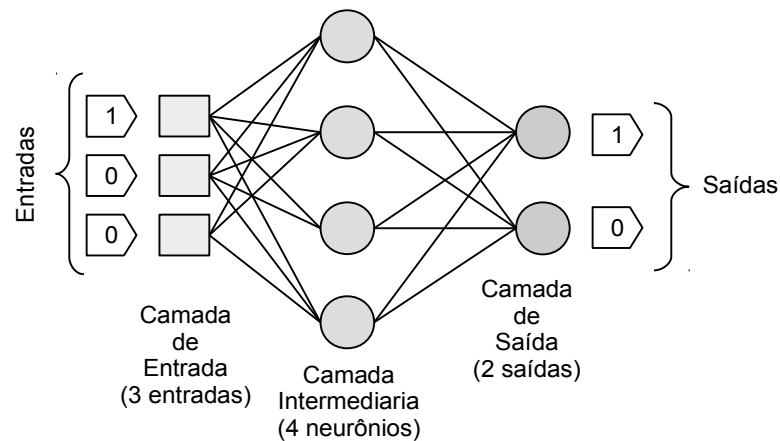


Figura 8: RNA *Multilayer* Perceptron (MLP) típica com uma camada intermediária.

Fonte: Produzido pelo autor.

### 1.3 QUESTÃO PRINCIPAL DE PESQUISA

Devido à relevância da previsão de demanda na fase de planejamento antecipado dos projetos de infraestrutura de transporte de passageiros, a questão de pesquisa deste estudo é: Como a aplicação de um modelo teórico de previsão de demanda baseado em RNA, utilizando como entradas as variáveis do modelo UTMS, pode contribuir para a gestão de projetos de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos?

A Figura 9 ilustra a estrutura conceitual da questão de pesquisa, onde os dados de entrada do modelo UTMS serão aplicados a um modelo neural de forma a treiná-lo, testá-lo e validá-lo; a saída do modelo será a previsão de demanda de passageiros que poderá ser utilizada no estudo de viabilidade econômico-financeiro do projeto em questão, servindo como ferramenta para tomada de decisão de investimento.

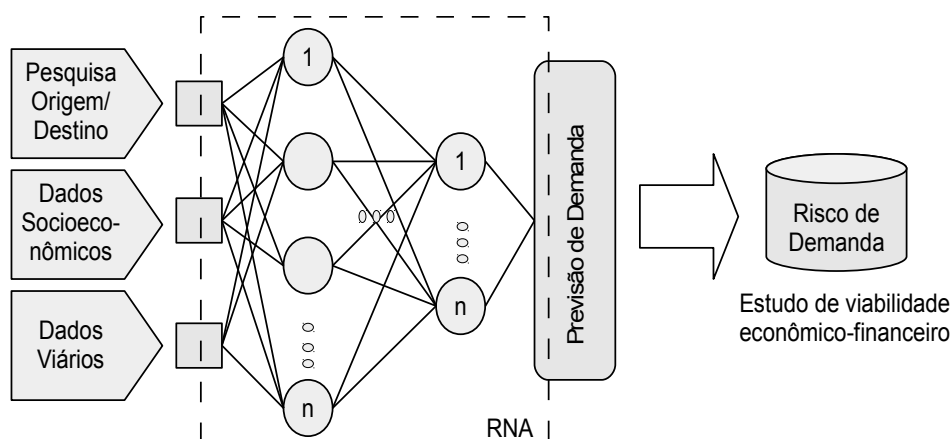


Figura 9: Estrutura conceitual da questão de pesquisa.

Fonte: Produzido pelo autor.

### 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

Aqui são apresentados o objetivo geral de pesquisa, de forma a responder a questão principal de pesquisa com possíveis contribuições práticas, e os objetivos específicos que conduzem ao atingimento do objetivo geral.

### **1.4.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é: Propor um modelo teórico de previsão de demanda para utilização na fase de Estudo de Viabilidade Econômico-Financeiro de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- (a) Identificar as atividades na fase de planejamento antecipado de projetos de empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos;
- (b) Identificar as variáveis de entrada que influenciem a demanda de passageiros em empreendimentos de transporte sobre trilhos;
- (c) Identificar arquiteturas e algoritmos de treinamento de RNA para a previsão de demanda;
- (d) Montar, treinar, testar e validar uma RNA para prever a demanda de passageiros em empreendimentos de transporte sobre trilhos.

### **1.4.3 Contribuições Práticas**

Com o modelo em questão validado, será possível a sua utilização na estimativa da demanda de passageiros em futuros empreendimentos de transporte de passageiros na RMSP, permitindo assim, análises iniciais de viabilidade econômico-financeira desses projetos, servindo desta forma como uma ferramenta de tomada de decisão de investimento nesta modalidade de projetos.

## **1.5 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO DO TEMA**

Ações conjuntas entre os setores público e privado, tais como a construção e operação



de grandes obras, são um impulso importante em áreas urbanas. Contudo, normalmente, envolvem grandes investimentos dos parceiros privados e seus financiadores. (Willoughby, 2013). No Brasil, um dos objetivos das PPP é viabilizar projetos que a priori não são atraentes para o setor privado devido à magnitude dos riscos envolvidos. (Saraiva, 2008). Jin e Zhang (2011) afirmam que, em muitos países, as PPP estão se tornando a melhor forma de prestação de serviços públicos; mas destacam que, em projetos desta modalidade, a alocação de riscos é fundamentalmente diferente das obras públicas convencionais. Para Hayford e Partner (2006), com as PPP, o setor público consegue transferir os riscos apropriados para o setor privado, que é, supostamente, mais capacitado para gerenciá-los. Sendo assim, a transferência de riscos, é um dos maiores direcionadores de valor nesta modalidade de projetos. Os resultados esperados, com as PPP são serviços de infraestrutura mais baratos e de melhor qualidade, comparados com a modalidade convencional de contratação.

Apesar do desejo do governo brasileiro na participação da esfera privada na implementação de projeto de infraestrutura, nestes mais de 10 anos da criação da Lei das PPP, conforme constatado por Thamer (2013), poucos empreendimentos obtiveram sucesso. Para a tomada de decisão da participação privada nestes empreendimentos – com todos os seus fatores políticos e regulatórios, os volumes de recursos e prazos, e envolverem ainda serviços considerados essenciais à sociedade – o conhecimento e a mitigação dos riscos são fundamentais para esse setor. (Brandão & Saraiva, 2007).

Como ferramenta para a tomada de decisão, Titman & Martin (2010, p. 38) afirmam:

O uso do FDC para avaliar grandes investimentos de longo prazo é atualmente uma prática aceita em todo o mundo. Em sua forma mais simples, a análise de dispêndios de capital, utilizando o FCD, envolve estimar os fluxos de caixa esperados, descontá-los a Valor Presente e, depois, tomar a decisão baseada em apenas uma estimativa de Valor Presente Líquido (VPL) do investimento. Na prática, entretanto, as decisões de investimento acontecem em um mundo de resultados futuros incertos, onde há mais coisas que podem acontecer do que coisas que vão acontecer, o que torna a análise do investimento consideravelmente mais completa.

Contudo, com a crise financeira global de 2008 e 2009, surgiram muitas preocupações sobre as práticas atuais de tomada de decisões. Com relação a isso, Rolstada as, Hetland, Jergeas e Westney (2011, p. 1) afirmam que:

Tornou-se claro que os executivos em todos os setores e em todo o mundo estavam, talvez sem saber, tomando decisões críticas, sem um completo entendimento dos riscos envolvidos; e é claro que isso também é verdade para as decisões de investir em grandes projetos de capital.

Para montar o fluxo de caixa do projeto, é necessário, entre outras coisas, estimar a receita operacional do empreendimento. Nos projetos de infraestrutura de transporte de passageiros a demanda é o principal fator de geração de receita. Assim, sua previsão é fundamental para tomada de decisão de investimento nesta categoria de projetos. Porém, conforme constatado por Flyvbjerg (2007) e ratificado por Brandão et al. (2012); Massa (2011); Oliveira e Carvalho (2008); e Campos e Gomes (2005), a demanda de passageiros é um dos principais fatores de risco em projetos de infraestrutura de transporte de passageiros.

Assim, evidencia-se a importância da previsão de demanda no gerenciamento de projetos desta categoria de megaprojetos, ainda em sua fase de planejamento antecipado, conforme enfatizado por Flyvbjerg (2013, p. 764):

Previsões de demanda são importantes para os gerentes de projetos e tomadores de decisão porque influenciam tanto o custo como o risco da receita dos projetos. As previsões afetam as decisões do projeto básico, porque elas determinam a capacidade e dimensão das instalações e sistemas que estão sendo planejados para o transporte ferroviário, por exemplo: o número de vias, o número e o comprimento dos trens, o comprimento das plataformas da estação, e o tamanho das estações.

Nesta mesma linha, para Murça e Müller (2014, p. 265) “A análise e previsão de demanda de setores estratégicos para a economia é um dos itens essenciais no processo de planejamento de investimentos em um país”. Assim, o conhecimento da demanda é fundamental para a tomada de decisão de investimento em projetos de infraestrutura de transporte de passageiros, e um fator impulsionador para a participação dos parceiros privados nesses projetos. E conforme afirma Moraes (2010, p. 9):

O gerenciamento dos trabalhos de análise de viabilidade e concepção de empreendimentos de capital pode em si ser considerado um projeto, que precisa ser gerenciado.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

(a) O Capítulo 2 apresenta os polos teóricos deste trabalho, sendo eles: o gerenciamento de projetos; os empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos; e as redes neurais artificiais. Todos eles direcionados a responder a questão

principal de pesquisa;

(b) O Capítulo 3 descreve os polos metodológicos e técnico deste trabalho, buscando caracterizá-lo de acordo com a sua natureza, o seu objetivo, o seu delineamento (técnicas/estratégia) de investigação, os seus tipos de dados, e os procedimentos de coleta e análise de dados;

(c) No Capítulo 4 os resultados obtidos são apresentados e discutidos;

(d) Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e recomendações deste trabalho, além das contribuições para a prática profissional do modelo neural de previsão de demanda proposto.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Este capítulo apresenta os polos teóricos deste trabalho. O referencial teórico e os conceitos aqui abordados foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica que tratam dos eixos: gerenciamento de projetos; empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos; e redes neurais artificiais. Todos eles direcionados a responder a questão principal de pesquisa. Ao final de cada polo teórico um quadro resumo é apresentado com os principais autores e trechos citados.

### **2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS**

Neste polo teórico são tratadas as definições de projetos e de gerenciamento de projetos, diferenciando as metodologias das boas práticas em gestão de projetos, enfatizando a metodologia do planejamento antecipado do projeto, com destaque para a fase de análise do negócio. Também são abordados os riscos e a modelagem econômico-financeira de projetos.

#### **2.1.1 Projetos**

Segundo Shenhar e Dvir (2010), as atividades de uma organização podem ser divididas em operações e projetos; as operações envolvem atividades rotineiras, tais como a produção e os serviços, já os projetos são iniciativas singulares, como o lançamento de novos produtos. Kerzner (2011, p. 2) define projeto como:

[...] sendo quaisquer séries de atividades e tarefas que: (a) Possuem um objetivo específico a ser atingindo dentro de determinadas especificações; (b) Possuem datas de início e de término definidas; (c) Possuem limites de financiamento (se aplicável); (d) Consomem recursos humanos e não humanos (ou seja, dinheiro, pessoas, equipamentos); (e) São multifuncionais (isto é, cruzam diversas linhas funcionais).

Para Shenhar e Dvir (2010), os projetos são os agentes da inovação e das mudanças nas empresas, sendo unicamente por eles a forma das organizações: mudarem; implementarem uma estratégia; inovarem; ou obterem vantagem competitiva. Sendo que até os processos operacionais começam com um projeto, que colocará as coisas em movimento. Nessa mesma

linha, Dutra, Ribeiro e Carvalho (2014) afirmam que os projetos são essenciais para criação de valor econômico e vantagem competitiva.

Segundo Kerzner (2011), devido os projetos possuírem, por definição, características únicas, a abordagem gerencial para tratá-los terá detalhes específicos para cada projeto em cada tipo de setor. O Quadro 1 classifica alguns projetos/setores e apresenta suas características, onde, por exemplo: enquanto os projetos dos setores de grandes construções e aeroespacial/defesa necessitam de planos detalhados em seus níveis de planejamento e programação do cronograma; os projetos do setor de sistemas de informação, um cronograma de atividades marcos atende a necessidade de planejamento, por outro lado, nesse setor a importância da estrutura organizacional é maior que nos outros dois.

Características	Tipo de Projeto/Setor				
	P&D Interno	Grandes Construções	Aeroespacial / Defesa	Sistemas Informação	Engenharia
Necessidades de habilidades interpessoais	Baixa	Alta	Alta	Alta	Baixa
Importância da estrutura organizacional	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
Dificuldades de gerenciamento do tempo	Baixa	Alta	Alta	Alta	Baixa
Número de reuniões	Excessivo	Excessivo	Excessivo	Alto	Médio
Supervisor do gerente de projeto	Média Gerência	Alta Gerência	Alta Gerência	Média Gerência	Média Gerência
Presença do patrocinador do projeto	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Intensidade de conflitos	Baixa	Alta	Alta	Alta	Baixa
Nível de controle dos custos	Baixo	Alta	Alta	Baixo	Baixa
Nível de planejamento/ programação do cronograma	Apenas Marcos	Plano Detalhado	Plano Detalhado	Apenas Marcos	Apenas Marcos

Quadro 1: Classificação dos projetos e suas características.

Fonte: Adaptado pelo autor de Kerzner (2011).

Independentemente do setor e da abordagem gerencial, os projetos são o fio condutor da estratégia organizacional, assim, o sucesso do projeto pode contribuir para o sucesso da organização. (Shenhar & Dvir, 2010; Dutra et al., 2014). Kerzner (2011) comenta que uma definição antiga para o sucesso do projeto era simplesmente a conclusão de uma atividade

dentro das restrições de prazo, custo e desempenho; modelo esse conhecido como “Triângulo de Ferro” ou ainda “Tripla Restrição”. (Atkinson, 1999). No entanto, o entendimento atual de sucesso de um projeto foi modificado, de forma a incluir ainda a conclusão dos seguintes itens: (Kerzner, 2011).

- (a) Concluído dentro do período de tempo alocado;
- (b) Concluído dentro do custo orçado;
- (c) Concluído ao nível de especificação ou desempenho adequado;
- (d) Concluído com aceitação pelo cliente/usuário;
- (e) Concluído com mudanças mínimas ou mutualmente adequadas no escopo;
- (f) Concluído sem atrapalhar o fluxo principal de trabalho da organização; e
- (g) Concluído sem modificar a cultura da empresa.

Neste sentido, Shenhar e Dvir (2010, p. 34) comentam ainda que o atendimento a tripla restrição não é mais, necessariamente, garantia de sucesso, afirmando:

A atitude tradicional sustenta que o sucesso de um projeto depende do cumprimento da restrição tripla – na hora programada, dentro do orçamento, e de acordo com as especificações. No entanto, no mundo dinâmico de projetos relacionados aos negócios, ater-se à tripla restrição não é mais suficiente, e um novo modelo é necessário.

A avaliação do sucesso de um projeto deve estar associada com o seu benefício para a organização no decorrer do tempo. Em uma perspectiva de negócios, as expectativas de sucesso devem ser definidas ainda durante a sua fase de planejamento, e mais adiante, o seu sucesso efetivo deve ser avaliado. A equipe do projeto deve abordar, ainda durante a execução, o sucesso do projeto e do resultado do projeto (produto ou serviço). Neste cenário, o gerente do projeto tem sua atuação expandida, passando a responder também pelo sucesso do resultado do projeto para o negócio da empresa, além de continuar com as responsabilidades da execução do projeto. (Shenhar & Dvir, 2010). Esses autores veem o sucesso do projeto como um conceito multidimensional e estratégico, onde, cada projeto necessita de mais de uma dimensão para mensurar seu sucesso, e ainda, que as dimensões são particulares para cada projeto, variando em importância e significância. Os autores apresentam três motivos para justificar a afirmação que as medidas do sucesso do projeto devem espelhar a intenção estratégica da empresa e seus objetivos de negócio, sendo eles: i) qual a razão da realização de um projeto que não serve à organização? ii) deve abranger o sucesso em um horizonte temporal, do curto ao longo prazo; e iii) as medidas de sucesso devem atender aos anseios

mútuos dos interessados que são afetados pelo resultado do projeto.

Baseados em suas pesquisas, Shenhar e Dvir (2010) propuseram um constructo de cinco dimensões para medir o sucesso do projeto. O Quadro 2 apresenta os cinco grupos de medidas e as variáveis (submedidas) de cada um deles; conforme se observa nele, uma das medidas possui um horizonte temporal de avaliação; isso traz um conceito de importância relativa para cada uma delas; por exemplo: em curto prazo – durante a execução do projeto – a dimensão eficiência é crítica, visto que, é a única que pode ser quantificada neste momento; porém, após o término do projeto, essa dimensão diminui de importância, uma vez que, com o passar do tempo, não importa muito se o projeto cumpriu com as restrições de recursos, sendo que, na maioria dos casos, após um ano do término do projeto, isso se torna irrelevante. (Shenhar & Dvir, 2010). Segundo Shenhar e Dvir (2010, p. 41) com relação as cinco dimensões propostas:

[...] proporcionam uma estrutura universal para avaliar o sucesso do projeto na maioria dos casos e ambientes, porém, algumas vezes, é necessário definir dimensões adicionais de sucesso para projetos específicos.

Por exemplo, em projetos públicos ou governamentais, o sucesso pode ser avaliado pela imagem e percepção que os cidadãos têm do governo, para os quais medidas especiais são desenvolvidas.

Como apresentado por Shenhar e Dvir (2010, p. 43), normalmente, existe uma relação direta entre as variáveis risco e oportunidade para os projetos. Eles afirmam que as medidas de sucesso dos projetos devem considerar essa situação. Assim, recomendam:

[...] para os projetos de baixo risco, o cumprimento das restrições de recursos é mais crítico e relevante do que para os projetos de riscos mais altos. O sucesso imediato de projetos de baixo risco depende do cumprimento das restrições de tempo e de orçamento, e seus lucros esperados podem ser geralmente determinados antecipadamente. Por outro lado, para os projetos de alto risco e alta incerteza, o desempenho medíocre a curto prazo, os excessos orçamentários e mesmo o sucesso comercial limitado podem ser compensados pelos benefícios a longo prazo, como a criação de novos mercados, o desenvolvimento de especialidades em novas tecnologias e o preparo da infra-estrutura *[sic]* para produtos mais avançados no futuro. Está claro que a satisfação do cliente e da equipe, e o sucesso direto são importantes para todos os tipos de projetos. Assim sendo, a importância relativa de sucesso do projeto mede as mudanças com níveis de riscos e incertezas.

Grupos de Medidas			Submedidas
Dimensão	Horizonte de avaliação	Em que momentos elas são avaliadas?	
Eficiência (cumprimento das metas planejadas)	Curto Prazo	(a) Durante a execução do projeto.	1) Cumprir o cronograma
		(b) No momento da conclusão do projeto.	2) Cumprir o orçamento
			3) Resultado
			4) Outras eficiências
Impacto no cliente	Médio Prazo	(a) Durante a execução do projeto.	1) Cumprir com os requisitos e especificações
2) Benefício para o cliente			
3) Extensão de uso			
4) Satisfação e lealdade do cliente			
5) Reconhecimento da marca			
Impacto na equipe		(b) Alguns meses após a conclusão do projeto, com a entrega do produto do projeto ao cliente.	1) Satisfação da equipe
			2) Moral da equipe
			3) Desenvolvimento de habilidades
			4) Crescimento dos membros da equipe
			5) Retenção dos membros da equipe
6) Sem estresses			
Sucesso comercial e direto	Longo Prazo	(a) Após conseguir um nível substancial de vendas do produto do projeto e o atingimento do ponto de equilíbrio nos retornos do projeto.  (geralmente de um há dois anos após o término do projeto)	1) Vendas
			2) Lucros
			3) Participação no mercado
			4) ROI, ROE
			5) Fluxo de caixa
			6) Qualidade do serviço
			7) Tempo de ciclo
			8) Medidas organizacionais
			9) Aprovação regulatória
Preparação para o futuro	Longo Prazo	(a) Após os benefícios de longo prazo começaram a dar resultados. (geralmente de três há cinco anos após o término do projeto)	1) Nova tecnologia
			2) Novo mercado
			3) Nova linha de produtos
			4) Nova competência central
			5) Nova capacidade organizacional

Quadro 2: Medidas específicas de sucesso do projeto

Fonte: Adaptado pelo autor de Shenhar e Dvir (2010).



Uma observação importante é quanto a aceção das palavras projeto e empreendimento; segundo Stonner (2001, p. 13) com relação ao emprego dos termos em seu livro, o autor salienta:

O termo “Empreendimento” é aqui utilizado onde comumente se utiliza o termo “Projeto”, devido à transposição frequentemente incorreta de termos do inglês para o português. Com efeito, temos a seguinte correspondência: *Design* = Projeto; *Project* = Empreendimento.

Nessa mesma linha o Guia Metrô (2013a, p. 13) diz:

[...] a palavra “projeto” tem o significado tanto de empreendimento (*project*) quanto da ação de desenvolver cálculos e desenhos construtivos (*design*). Considerando o uso recorrente da palavra “projeto” em nosso dia a dia, com o significado de design (projetos funcionais, básicos e executivos), optamos por utilizar, sempre que aplicável, a palavra “empreendimento” quando estivermos nos referindo ao projeto como um todo.

Stonner (2001) complementa afirmando que o termo empreendimento tem uma aceção muito mais abrangente que projeto, visto que, as etapas de concepção, avaliação de mercado, estudo de viabilidade técnico-econômica, projeto básico e de detalhamento (projeto executivo), gerência de suprimentos, obras civis e montagem eletromecânica, testes e pré-operação fazem parte do seu escopo.

Contudo, se para o produto existe uma certa concordância quanto ao seu ciclo de vida, para os projetos isto ainda não existe; isto devido à natureza complexa e diversa dos projetos; porém, o ciclo de vida de um sistema pode ser aplicado ao projeto, sendo ele compreendido pelas seguintes fases: i) conceitual; ii) planejamento; iii) testes; iv) implementação; e v) encerramento. A fase conceitual envolve: a avaliação preliminar de uma ideia; a análise preliminar dos riscos; e o impacto resultante nos requisitos de tempo, custos, desempenhos e recursos da empresa. (Kerzner, 2011).

### 2.1.2 Projetos complexos

Segundo Hass (2009) complexidade é uma daquelas palavras de difícil definição, onde para alguns ela é o oposto de simplicidade, enquanto para outros é o oposto de independência. Baccarini (1996) propõe que a complexidade do projeto ser definida como um conjunto de muitas partes inter-relacionadas, e que esta definição pode ser aplicada a qualquer dimensão relevante no processo de gestão do projeto, assim, quando se fala em projeto complexo, deve-

se indicar claramente qual a dimensão do projeto que é complexa. Em seu trabalho, Pereira (2013) levantou várias definições para complexidade, projetos complexos e gerenciamento de projetos complexos, o Quadro 3 apresenta algumas dessas definições.

Autores	Definição
Baccarini (1996)	A complexidade considera o número de elementos físicos de um projeto e a forma como eles dependem uns dos outros
Simon (1996)	Define complexidade pelo amplo número de partes que têm muitas interações
Wideman (2002)	A complexidade de um projeto pode ser classificada em função da extensão em que ele, ou um dos seus componentes, envolve um grande número de peças, ou de pessoas, a serem coordenadas
Xia e Lee (2005)	Aponta a presença de quatro dimensões de complexidade: a estrutural; a dinâmica; a organizacional; e a tecnológica
Winter (2006)	A complexidade geralmente não é levada em consideração nas tradicionais abordagens de gestão de projetos, cuja ênfase é dada à análise de custos, tempo de execução e conformidade em relação às especificações, e na adoção de instrumentos e procedimentos padronizados
Butler (2008)	O gerenciamento de projetos complexos focaliza prioritariamente a atuação sobre questões relativas à incerteza e ao caos. Identifica, assim, a Integração de sistemas, estratégia e gerenciamento; plano de negócios, ciclo de vida, relatórios e medição de desempenho; mudança da jornada; Inovação, criatividade e trabalho mais inteligente; arquitetura organizacional; liderança e comunicação; cultura; probidade e governança.
College of Complex Project Managers: Competency Standards (2008)	Projetos complexos são sistemas abertos, emergentes e adaptativos, caracterizados por recursividade e <i>loops</i> de <i>feedback</i> não lineares. A sensibilidade a pequenas diferenças nas condições iniciais inibe significativamente seu planejamento de longo prazo detalhado, e sua implementação é um processo dinâmico.  Projetos complexos são, geralmente, sistemas adaptativos, com alto grau de incerteza na definição do escopo, que enfrentam turbulência ambiental e interna. Normalmente, são implementados por um planejamento de onda e não são passíveis de serem decompostos em itens com limites bem definidos.
Hays (2010)	Complexidade caracteriza-se por incerteza, ambiguidade, interfaces dinâmicas e uma influência política expressiva. Podem ser definidos pelo efeito, mas não pela solução, normalmente são executados durante um período de tempo que excede o ciclo de vida das tecnologias envolvidas.

Quadro 3: Algumas visões sobre complexidade.

Fonte: Adaptado pelo autor de Pereira (2013, p. 37).

### 2.1.3 Gerenciamento de Projetos

Para Kerzner (2011, p. 3) a abordagem do gerenciamento de projetos é relativamente moderna, e tem como objetivo melhorar o controle e a utilização dos recursos existentes. Ele define o gerenciamento de projetos como:

[...] é o planejamento, a organização, a direção e o controle dos recursos da empresa para um objetivo de relativo curto prazo, que foi estabelecido para concluir metas e objetivos específicos. Ademais, o gerenciamento de projetos utiliza a abordagem sistêmica de gestão por meio da alocação de pessoal funcional (hierarquia vertical) para um projeto específico (hierarquia horizontal).

Em contraposição a visão de Kerzner (2011) para o gerenciamento de projetos – focado no controle e a utilização de recursos existentes, com um objetivo exclusivamente de curto prazo – Shenhar e Dvir (2010) propõem um estilo gerencial adaptativo e flexível, conhecido como abordagem contingencial, focado na visão dos autores para o sucesso do projeto. Como visto, essa visão envolve o conceito multidimensional e estratégico, em uma dimensão temporal de curto a longo prazo, conforme apresentado no Quadro 2.

Enquanto na visão de Kerzner (2011) a responsabilidade do gerente de projetos é atender a critérios de sucesso que basicamente terminam junto com o término do projeto; para Shenhar e Dvir (2010) as dimensões de sucesso do projeto, apresentadas no Quadro 2, devem fazer parte de todo o planejamento, e serem incluídas já no termo de abertura do projeto; assim, durante a execução, a equipe do projeto, além de se preocupar em atender a tripla restrição – que são medidas de curto prazo – terá que se atentar para os requisitos do negócio – isto é, uma visão de longo prazo – como, por exemplo: será que o cliente comprará o produto do projeto? Marques (2009) afirma que a abordagem tradicional da gestão de projetos é inadequada para a gestão de projetos complexos e incertos; isto, devido ao seu enfoque racional e normativo que acredita que o sucesso do projeto vem da aplicação de melhores práticas normatizadas, sendo essas práticas, as mesmas independentemente do tipo e natureza dos projetos. Patah e Carvalho (2012, p. 182) apresentam a metodologia de projetos como uma sistemática composta por: i) métodos; ii) pacotes de ferramentas; e iii) modelos de projetos. Para eles a gestão de projetos:

[...] pode ser vista como a aplicação sequencial de processos estruturados, repetidos e contínuos que, quando utilizados por uma organização de forma gradual e segura para seus negócios, permite dar passos rumo à institucionalização de práticas padronizadas.

Carvalho e Rabechini (2011) fazem uma cronologia da evolução do gerenciamento de projetos, com os seguintes marcos históricos:

(a) pós-guerra: início do gerenciamento de projetos, com o método do caminho crítico (CPM) e sua variante probabilística (PERT);

(b) anos 1960: surgimentos das primeiras associações de gerenciamento de projetos – em 1965 na Europa o *International Project Management Association* (IPMA) e em 1969 nos Estados Unidos o *Project Management Institute* (PMI);

(c) anos 1970: estagnação com destaque nos softwares de gerenciamento de projetos;

(d) anos 1980: crescimento do gerenciamento de projetos no mundo, com consolidação das boas práticas de gestão preconizadas pelas associações;

(e) anos 1990: crescimento exponencial do nº de profissionais certificados e publicações dos guias de conhecimentos em gerenciamento de projetos, os *Body of Knowledge* (BoKs);

(f) anos 2000: início dos modelos organizacionais de maturidade.

Esses autores dividem o processo evolutivo em três partes, sendo elas: i) até os anos 1980: fase embrionária do gerenciamento de projetos; ii) entre os anos 1980 e 2000: primeira onda do gerenciamento de projetos; e iii) após os anos 2000: segunda onda o gerenciamento de projetos.

#### 2.1.3.1 Metodologias e boas práticas de gerenciamento de projetos

Segundo Martins e Theóphilo (2009) o termo metodologia é empregado com significados diversos, contudo, a aceção mais amplamente aceita define metodologia como o estudo dos métodos; sendo o seu objetivo o aperfeiçoamento dos procedimentos e critérios utilizados na pesquisa. Já o método é o caminho para se chegar a determinado fim ou objetivo. Outra conceituação importante é a de boas práticas, definida pelo PMI (2013, p. 1), no contexto do gerenciamento de projetos, como:

Boas Práticas significa que há um consenso de que a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas podem aumentar as chances de sucesso ao longo de muitos projetos. Boas práticas não significa que o conhecimento descrito deverá ser sempre aplicado uniformemente a todos os projetos.

O próprio PMI (2013, p. 1) não classifica o seu Guia PMBOK® como uma metodologia, conforme:

Esta norma é um guia e não uma metodologia específica. Pode-se usar diferentes metodologias e ferramentas (por exemplo, ágil, cascata, PRINCE2®) para implementar a estrutura de gerenciamento de projeto.

Assim, é importante diferenciar os guias de boas práticas de gerenciamento de projetos, chamados genericamente de *BoKs* (*Body of Knowledge*) – tais como: o Guia PMBOK®; e o ICB-IPMA – das metodologias de gerenciamento de projetos, como exemplos: a PRINCE2®; e a *Front-End Loading* (FEL); entre outras. Existem vários modelos de métodos de gerenciamento de projetos, sendo que os mais difundidos são os apresentados no Quadro 4.

Instituto	Conjunto de Métodos	Versão Atual	País de Origem	Foco da Metodologia
<i>Project Management Institute</i> (PMI)	<i>Project Management Body of Knowledge</i> (PMBOK)	5ª edição 2013	EUA	Gestão geral de projetos
<i>International Project Management Association</i> (IPMA)	ICB – IPMA <i>Competence Baseline</i>	3ª edição 2006	União Europeia	Gestão geral de projetos
<i>Australian Institute of Project Management</i> (AIPM)	AIPM – <i>Professional Competency Standards for Project Management</i>	Edição 2008	Austrália	Gestão geral de projetos
<i>Association for Project Management</i> (APM)	APM <i>Body of Knowledge</i>	6ª edição 2012	Reino Unido	Gestão geral de projetos
<i>Office of Government Commerce</i> (OGC)	<i>Projects In Controlled Environments</i> (PRINCE2)	Edição 2009	Reino Unido	Gestão de projetos de sistemas de informação
<i>Japan Project Management Forum</i> (JPMF)	ENAA Model Form- International Contract for Process Plant Construction	3ª edição Março 2010	Japão	Gestão de projetos de construções

Quadro 4: Principais associações de gerenciamento de projetos

Fonte: Adaptador pelo autor de Patah e Carvalho (2012, p. 183).

Patah e Carvalho (2012) fazem as seguintes observações quanto aos métodos apresentados nesse no Quadro 4:

(a) Guia PMBOK®: é um conjunto de métodos genéricos e bastante abrangente que objetiva atender às necessidades dos mais diversos tipos de projetos. Deve ser adaptado quando da aplicação de seus conceitos por parte das organizações. Durante a adaptação, é grande a chance da organização se perder no grau de profundidade com que deve tratar os

processos presentes no documento, frente às suas necessidades específicas. Além disso, se a organização também conduz programas, deve buscar os conceitos adicionais e específicos na norma de programa publicada pelo PMI;

(b) Guia ICB-IPMA: é uma excelente fonte de referência para aqueles que buscam uma opção de métodos em gerenciamento de projetos mais voltada para os aspectos humanos da gestão; é estruturado por competências que o projeto necessita desenvolver, seu conteúdo encontra-se dividido em três partes: competências contextuais, comportamentais e técnicas;

(c) Guia AIPM: ainda pouco difundido no Brasil, configura-se como uma boa fonte de referência para os aspectos humanos do gerenciamento de projetos;

(d) Guia APM: também pouco difundido no Brasil, sendo um dos guias mais completos. Além dos aspectos relacionados à gestão técnica de projetos, este documento apresenta conteúdos que tratam os conceitos do valor do gerenciamento de projetos, dos modelos e sistemáticas de implementação de escritórios de projetos e dos aspectos estratégicos da gestão de projetos;

(e) PRINCE2®: metodologia voltado ao mercado de tecnologia de informação, apresenta-se estruturado por etapas de um projeto e por atividades a serem conduzidas por sua equipe de gestão, por isso é um pouco mais voltado à aplicação prática do que os demais;

(f) Guia ENAA: dedica-se a analisar com mais profundidade os aspectos técnicos e contratuais de grandes projetos de engenharia tendo, portanto, uma aplicação mais restrita a determinados segmentos de mercado.

Para Carvalho e Rabechini (2011, p. 55) os BoKs:

Sintetizam a visão de determinada comunidade sobre as boas práticas de Gestão de Projetos. Em geral, são estruturadas em áreas de conhecimento e processos, mas também há aqueles que se orientam por competências.

Dos *BoKs* apresentados por Patah e Carvalho (2012), nota-se que o Guia PMBOK® é orientado a processos, enquanto o ICB-IPMA é orientado a competência. O Guia PMBOK® (PMI, 2013, p. 46) define processo como:

[...] é um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas, que são executadas para alcançar um produto, resultado ou serviço predefinido. Cada processo é caracterizado por suas entradas, as ferramentas e as técnicas que podem ser aplicadas e as saídas resultantes.

Já o IPMA (2006, p. 9) define competência como:

Competência é a demonstração da capacidade de aplicar conhecimento e/ou habilidade, e, quando relevante, atributos pessoais demonstráveis.  
Competência é uma coleção de conhecimentos, atitudes pessoais,

habilidades e experiências relevantes necessários para o exercício bem-sucedido de uma dada função.

Grau (2013) afirma que existe uma grande quantidade de padrões de gerenciamento de projetos com origens e aplicações diferentes, dividindo-os em quatro grupos, conforme a Figura 10.

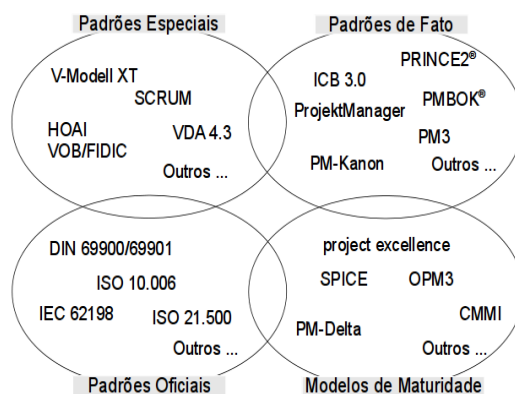


Figura 10: Tipo de padrões de gerenciamento de projetos.

Fonte: Adaptado pelo autor de Grau (2013).

Dentre os padrões oficiais, Grau (2013) destaca a ISO 21.500, que trata de orientações para o gerenciamento de Projeto. Essa norma foi lançada pelo *International Organization for Standardization* (ISO) em 2012.

#### 2.1.3.2 Planejamento Antecipado do Projeto – FEL

O pré-planejamento de projetos ou ainda planejamento antecipado de projeto é o processo que abrange todas as tarefas entre o início do empreendimento e o início do design detalhado (projeto executivo). Esse processo começa com um conceito de projeto para atender uma necessidade de negócio e termina com uma decisão de prosseguir com o detalhamento do projeto proposto. (Gibson Jr., Yu-Ren Wang, Chung-Suk Cho, & Pappas, 2006). Kerzner (2011) fala do planejamento preliminar, também conhecido como definição de requisitos, como a fase em que o esforço é oficialmente definido como um projeto.

Uma forma de minimizar o risco dos investimentos é procurar fazê-los em projetos que estejam alinhados à estratégia organizacional e que realmente agreguem valor ao negócio,

assim, o desenvolvimento de um processo para a gestão eficaz do portfólio de projetos é necessário. (Ribeiro, Valle, Soares, & Santos, 2013). Indo ao encontro dessa afirmação, a pesquisa bibliográfica conduzida por Barros e Mello (2009) buscou identificar na literatura os fatores críticos para o sucesso da gestão de portfólio de projetos, encontrando entre os termos mais citados a definição de um processo formal para análise do portfólio de projetos. Copper (1993 como citado em Sales e Canciglieri, 2011, pp. 6-7), afirma que a obtenção de um plano eficiente para o desenvolvimento de um novo produto permite: i) a execução com qualidade, já que todo o processo de desenvolvimento é minuciosamente analisado, impactando na redução do retrabalho; ii) a priorização das atividades, uma vez que são selecionadas ações que agreguem valor ao produto, evitando-se assim gastos com projetos desalinhados com a estratégia organizacional e que não trarão o retorno esperado; iii) a execução de atividades paralelamente, já que é possível garantir que atividades sejam realizadas em paralelo sem prejuízos/problemas de qualidade ou retrabalho; iv) o estabelecimento de equipes multifuncionais, propiciando o trabalho em equipe com profissionais das mais diversas competências para o alcance de bons resultados; v) a forte orientação para o mercado, focando o entendimento das necessidades dos consumidores e alcance da demanda pelo produto, e conseqüentemente seu sucesso; e vi) o foco nas atividades iniciais (*front-end*) de desenvolvimento do produto, já que estimula a investigação preliminar, a atenção ao escopo e minimiza alterações no decorrer do projeto que geram grandes custos. Essa abordagem recebeu o nome de modelo *Stage-Gate*® de tomada de decisões. De acordo com Cooper (2008), o modelo *Stage-Gate*® é um mapa conceitual e operacional para o lançamento de ideias de projetos de novos produtos. Ao mesmo tempo, é um modelo de gestão que visa melhorar a eficiência e eficácia do próprio processo de desenvolvimento desses produtos. Esse modelo é estruturado em estágios e portões de decisão, conforme sua forma simplificada representada pela Figura 11.

Esse modelo é operacionalizado da seguinte forma: no estágio, a equipe responsável pelo projeto coleta as informações requisitadas, realiza a integração e suas análises, com vistas à redução de incertezas e riscos relacionados ao projeto; em seguida, encaminha as entregas aos tomadores de decisão do portão referente ao estágio em questão. As decisões possíveis pelos guardiões do portão podem ser de: i) aceite – permitindo que o projeto passe para o estágio seguinte; ii) recusa – parando o projeto neste estágio e cancelando o seu desenvolvimento; iii) espera – para ser retomado/dado continuidade em outro momento; ou



iv) recicla – com o intuito de readequação do projeto. (Cooper, 2008). A avaliação é feita considerando análise econômica, além de aspectos sociais ambientais e técnicos. (Mulisani, 2013). O modelo *Stage-Gate*® padrão é composto por cinco estágios e portões de decisão, onde o processo se inicia com uma fase de ideação, denominada de descoberta, e é finalizado com a revisão pós-lançamento do produto no mercado, conforme apresenta a Figura 12. (Cooper, 2008).

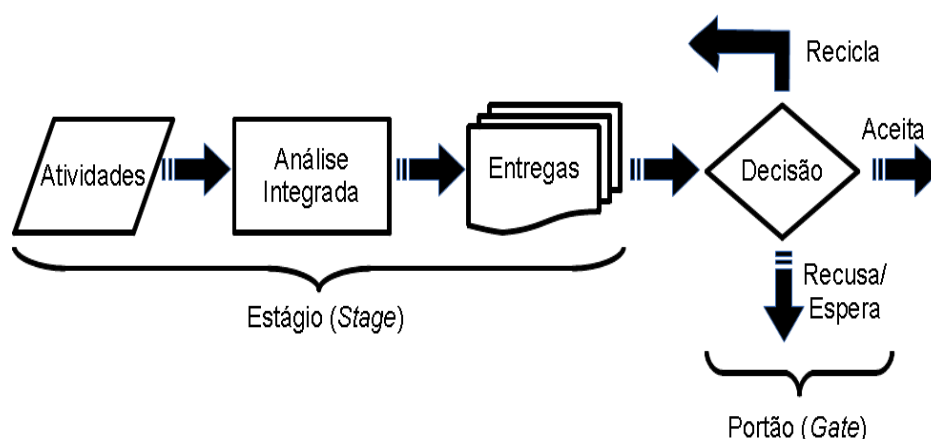


Figura 11: Forma simples do modelo *Stage-Gate*®.

Fonte: Adaptado pelo autor de Cooper (2008).

Segundo Mulisani (2013, p. 58):

A metodologia *Stage-Gate*® é um procedimento aplicado no desenvolvimento do projeto, de um produto ou sistema, segmentado em diversas fases. A evolução do projeto nas fases subsequentes exige a avaliação prévia dos requisitos pré-estabelecidos [sic], os quais irão atestar a evolução deste projeto e a passagem deste Gates (portões). A continuidade de determinado projeto através dos Gates de Decisão é decidido por um gerente de contrato ou um Comitê de Controle de Mudanças.

O sucesso do modelo *Stage-Gate*® foi evidenciado na análise bibliométrica realizada por Carvalho, Lopes e Marzagão (2013) que constataram que as empresas com melhores práticas de gestão de portfólio utilizam esse modelo. Ainda assim, existem críticas ao modelo, tais como as levantadas por Atkinson (2007), apresentadas no Quadro 5.

Kerzner (2011) afirma que o processo *Stage-Gate*® parece ter sido substituído por fases do ciclo de vida do projeto. Contudo, o processo continua a ser utilizado, agora, internamente dentro de cada uma das fases do ciclo de vida, como uma ferramenta de tomada de decisão. A vantagem desta nova abordagem de utilização é que enquanto as fases do ciclo de vida são iguais para todos os projetos, o processo *Stage-Gate*® pode ser adaptado para

cada projeto, de forma a facilitar a tomada de decisões e o gerenciamento dos riscos. Com esta nova utilização, o processo *Stage-Gate*® passa ser parte integrante do gerenciamento de projetos, quando anteriormente era utilizado, primeiramente, no desenvolvimento de novos produtos.

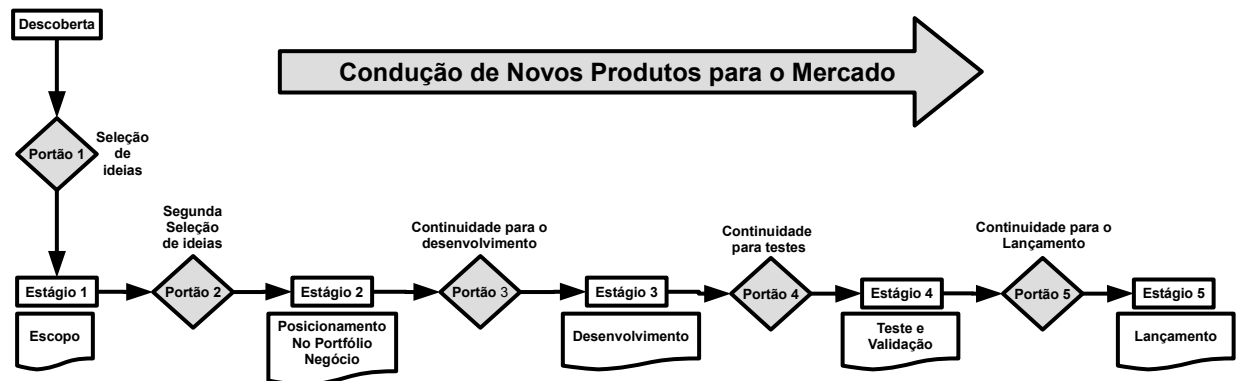


Figura 12: Modelo *Stage-Gate*® de 1ª Geração.

Fonte: Adaptado pelo autor de Cooper (2008).

Autores	Críticas ao modelo <i>Stage-Gate</i> ®
Mahajan e Wind (2001)	[...] o processo tradicional é pesado e inadequado em ambientes complexos, incertos, não-lineares e nos mercados interligados
Carter et al. (2002)	[...] algumas empresas complicam o processo e que os estágios devem ser o mais curto possível, ou podem minimizar a oportunidade de resolver problemas de forma rápida
Muffatto e Roveda (2002)	[...] é excessivamente complicado e a maioria das empresas tende a utilizar um sistema menos formal, particularmente a nível local para projetos globais

Quadro 5: Críticas ao modelo *Stage-Gate*®

Fonte: Adaptado pelo autor de Atkinson (2007, p. 26).

Gonçalves (2009) apresenta um outro modelo baseado em portões de decisão para o processo de desenvolvimento de produtos; essa abordagem estruturada, conhecido como modelo Unificado do Planejamento e Desenvolvimento de Produtos é dividida em três macrofases, sendo elas: i) o pré-desenvolvimento, que compreende o planejamento detalhado do produto; ii) o desenvolvimento, que abrange a definição das soluções e de todas as informações técnicas do produto; e o pós-desenvolvimento, que consiste no acompanhamento sistemático do produto ao longo do ciclo de vida. As macrofases são subdivididas em seis fases, sendo elas as fases de:

(a) planejamento do projeto;

(b) projeto informacional, é a fase onde se definem os requisitos do projeto e suas

respectivas especificações meta a serem alcançadas;

(c) projeto conceitual, compreendendo: a modelagem funcional do produto; a definição das alternativas de solução; a definição da arquitetura; a análise dos sistemas, subsistemas e componentes; e seleção das concepções alternativas do produto;

(d) projeto detalhado, compreendendo: o detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes; otimização do produto e processo; planejamento do processo de fabricação e montagem; criação do material de suporte ao produto; projeto da embalagem; e planejamento do fim de vida do produto;

(e) preparação da produção, esta fase engloba o desenvolvimento do processo de produção e manutenção, recepção e instalação de recursos novos, homologação do processo e treinamento da mão de obra;

(f) lançamento do produto, nesta fase se faz a preparação dos processos de vendas, distribuição, assistência técnica e atendimento ao cliente para o futuro lançamento do produto.

Já as fases são subdivididas em tarefas e atividades; no site <http://www.pdp.org.br> é possível navegar por todas as tarefas e atividades propostas pelos autores do modelo. A Figura 13 apresenta esse modelo.

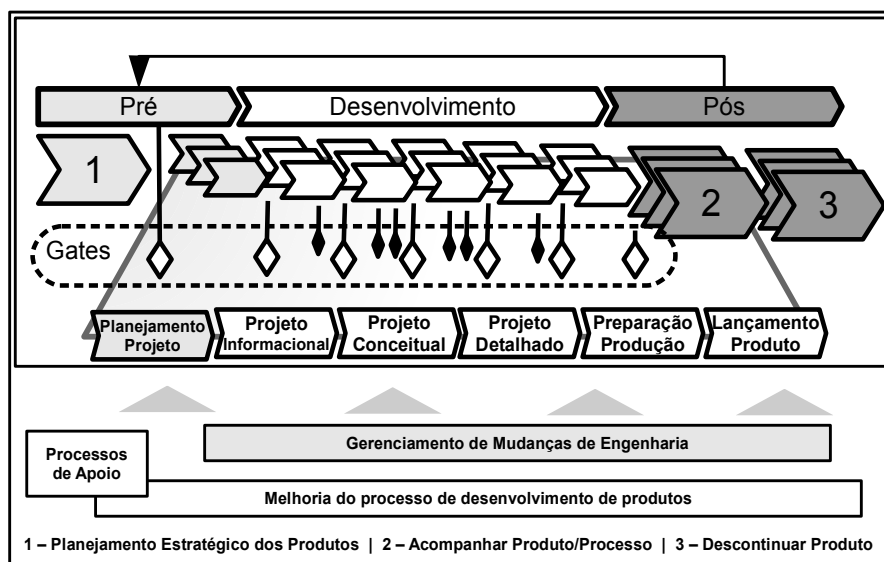


Figura 13: Modelo Unificado do Planejamento e Desenvolvimento de Produtos.

Fonte: Adaptado pelo autor de Gonçalves (2009).

A metodologia de gerenciamento de megaempreendimentos, apresenta na Figura 14, conhecida como *Front-End Loading* (FEL), é um outro modelo baseado em portões de decisão; que segundo Ribeiro et al. (2013, p. 60–61):

[...] é utilizado em megaprojetos, onde os investimentos são de valor elevados, com a intenção de minimizar os riscos de investimentos em projetos desta natureza. Normalmente ele é aplicado em setores industriais como, por exemplo, mineração, petroquímica, energia e onde os projetos são de alta complexidade e custos excessivos.

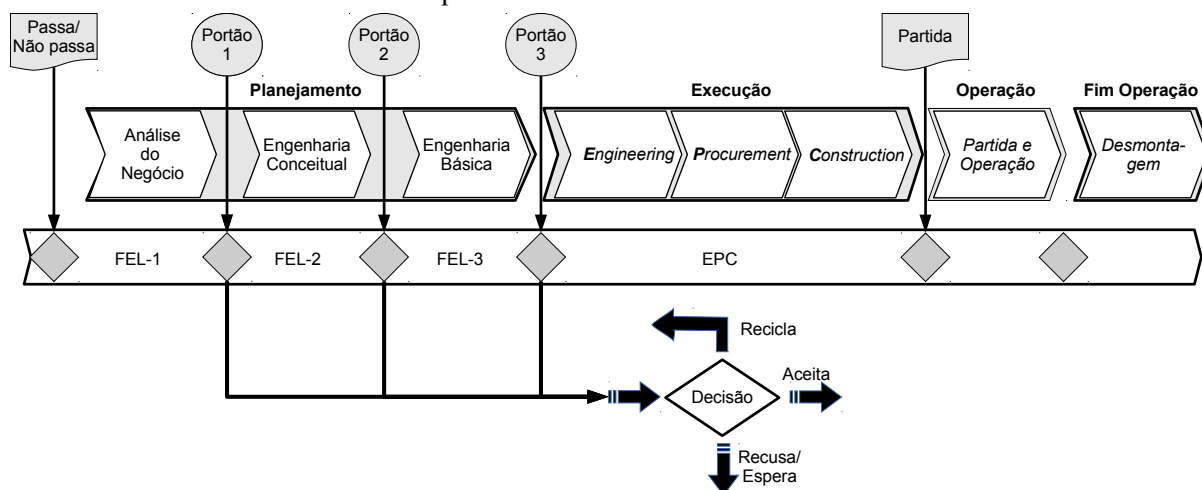


Figura 14: Ciclo de vida genérico dos empreendimentos com os portões de decisões.

Fonte: Adaptado pelo autor de Merrow (2011) e Vale (2011).

Batavia (2001 como citado em Ramos, 2006, p. 54) acrescenta ainda que a metodologia FEL:

[...] envolve a análise preliminar da organização e do empreendimento e a realização da engenharia básica. A sua execução deve ser imediatamente anterior às fases de engenharia de detalhamento, de gestão de suprimentos, de construção, de montagem e de comissionamento de um projeto. O objetivo desta etapa é gerar um planejamento detalhado com um pacote de engenharia bem definido, que garanta que o progresso será conduzido de forma suave, com o mínimo de mudanças e retrabalho, durante a execução da fase de engenharia de detalhamento.

Flyvbjerg et al. (2003 como citado em Jergeas, 2008, p. 95) relata exemplos de megaprojetos de infraestrutura que experimentaram elevado excesso de custos, identificando como as principais causas disso a deliberação inadequada sobre o risco e a falta de prestação de contas no processo de tomada de decisões do projeto. Jergeas (2008) afirma que, em geral, a causa dos excessos de custos na construção civil e em projetos de engenharia não são únicas, e apresenta como evidências os achados do Instituto da Indústria da Construção (CII) que identificou várias razões para esses excessos, incluindo, mas não se limitados, as falhas: i) no planejamento antecipado (*front-end planning*); ii) no projeto (*design*); iii) nas compras (*procurement*); iv) na partida (*start-up*) e operações; iv) nas questões de recursos humanos; e v) na organização, processos e controles de projetos. Cita ainda estudos em campos petrolíferos na região de Alberta no Canadá, que identificou como causas dos estouros nos

custos ou nos cronogramas: estimativas de custos e cronogramas irreais ou excessivamente otimista; e a definição incompleta do escopo.

Merrow (2011) apresenta a metodologia FEL composta por três fases, sendo a nomenclatura mais comum das fases a apresentada na Figura 14, sendo elas:

(a) fase FEL-1, que trata da análise do negócio – dedicada ao desenvolvimento do *business case* e decisão da viabilidade do investimento de capital no projeto. Uma questão fundamental nesta fase é verificar se o projeto em análise está alinhamento à estratégia do negócio;

(b) fase FEL-2, que aborda a engenharia conceitual – é a fase da seleção do escopo e desenvolvimento do projeto conceitual, onde a equipe técnica desenvolverá todos os diagramas da instalação, definindo todo o escopo do projeto, e consequentemente melhorando as estimativas de custos;

(c) fase FEL-3, é a fase da engenharia básica – envolve o avanço da engenharia a um nível de detalhamento que permita o avanço para a próxima fase sem futuras alterações.

Segundo Smith (2000a como citado em Assis, 2012) com relação às fases da metodologia FEL:

(a) na fase FEL-1, a viabilidade comercial do empreendimento é determinada, com a verificação dos potenciais de ganho e custo para a construção e operação; tipicamente as estimativas de custo nesta fase apresentam uma precisão da ordem de 50%;

(b) na fase FEL-2, é feita a escolha da tecnologia e são identificadas alternativas; a estimativa de custo tem precisão da ordem de 30%;

(c) na fase FEL-3, ocorre a definição do projeto, sendo que, ao término dela o projeto já está suficientemente maduro, com os equipamentos calculados e o fluxograma de engenharia definido; as estimativas apresentam uma precisão da ordem de 10%; tipicamente, de 30% a 50% dos estudos de engenharia foram completados nesta fase.

Após o término das fases do FEL – isto é, a fase do planejamento do projeto – vem as fases da implementação do projeto, conhecida como EPC, também formada por três etapas, sendo elas: i) *Engineering*; ii) *Procurement*; e iii) *Construction*. A fase de transição das etapas de planejamento (FEL) para a execução (EPC) é conhecida como pré-detalhamento do projeto – *Front End Engineering Design* (FEED). (Ramos, 2006).

As fases do FEL podem se sobrepor, o que é conhecido em gerenciamento de projetos como *fast-track*, contudo, segundo a Vale (2011, p. 13):

[...] quanto maior a superposição das fases do processo de desenvolvimento, maior será o risco de comprometimento do escopo, do prazo, da qualidade e do custo do projeto. Estes riscos devem ser identificados, registrados e comunicados à empresa e precisam estar sob constante monitoramento.

Bosch-Rekveltdt (2011) comenta que, ao aplicar um processo de gestão estruturado em fases do projeto, como são os casos dos modelos baseados em portões de decisão apresentados, é assegurado que as etapas do processo de gerar as informações necessárias com a decisão final de investimento são tomadas na ordem certa; desta forma, se alguns aspectos não estão bem desenvolvidos, este problema pode ser resolvido antes das despesas serem executadas, e ainda há a capacidade de filtrar os projetos que não estejam alinhados à estratégia da empresa. Cada uma das fases alimenta a subsequente, onde há a tomada de decisão de seguir ou não em frente. Assis (2012) afirma que um problema frequente é o avanço do projeto para uma próxima fase mesmo sabendo que este não apresenta um retorno dentro do esperado; nestes casos, deve-se mudar o escopo, encontrar uma solução alternativa ou abandonar o projeto imediatamente.

A nomenclatura das fases da metodologia FEL recebe designações diferentes na literatura, o Quadro 6 apresenta os vários nomes dados as fases da metodologia dependendo das fontes consultadas. Bosch-Rekveltdt (2011).

Fonte	FEL-1	FEL-2	FEL-3
Turner (2008)	<i>Concept</i>	<i>Feasibility</i>	<i>Design</i>
Morris e Hough (1987)	<i>Pre-feasibility</i>	<i>Feasibility</i>	<i>Design</i>
de Groen et al.(2003) Oosterhuis et al. (2008)	<i>Define business case</i>	<i>Do conceptual design</i>	<i>Do basis engineering</i>
IPA (2009b)	<i>Appraise</i>	<i>Select</i>	<i>Define</i>
Hutchinson e Wabeke (2006)	<i>Identify and assess</i>	<i>Select</i>	<i>Define</i>

Quadro 6: Nomes típicos das fases do FEL.

Fonte: Adaptado pelo autor de Bosch-Rekveltdt (2011).

Nesta mesma linha, Motta (2013) identificou e traduziu essas diversas nomenclaturas utilizadas na indústria para se referir ao processo do planejamento antecipado, o Quadro 7 apresenta alguns exemplos encontrados pelo autor.

Termos Internacionais	Termos traduzidos para o Português
<i>Front-End Planning</i> (FEP)	Planejamento Antecipado
<i>Front-End Loading</i> (FEL)	

Termos Internacionais	Termos traduzidos para o Português
<i>Front-End Development</i> (FED)	Desenvolvimento Antecipado
<i>Pre-Project Planning</i> (PPP)	Pré-Planejamento de Projeto
<i>Scope Definition</i>	Definição de Escopo
<i>Conceptual Planning</i>	Planejamento Conceitual
<i>Feasibility Analysis</i>	Análise de Viabilidade
<i>Project Programming</i>	Programação de Projeto
<i>Schematic Design/Design Development</i>	Desenvolvimento de Projeto
<i>Front-End Engineering Design</i> (FEED)	Pré-Detalhamento de Projeto
<i>Front-End Decision Making</i> (FEDM)	Tomada de Decisão Antecipada

Quadro 7: Terminologias do Planejamento Antecipado.

Fonte: Adaptado pelo autor de Motta (2013).

O Quadro 8 apresenta, para cada uma das fases da metodologia FEL, os objetivos e as principais atividades que devem ser realizadas na mineradora Vale S.A., que adota esta metodologia desde 2005.

Fase	Objetivos	Principais Atividades	
FEL 1	Partindo da análise da atratividade do negócio, desenvolver e avaliar as oportunidades de investimentos, alinhadas sempre com as metas e estratégias da empresa.	1	Identificar as oportunidades de negócios, definir as diretrizes do projeto e seus direcionadores de prazo, custo etc
		2	Desenvolver o plano de negócios da oportunidade ( <i>business case</i> ), explorando ao máximo a identificação e caracterização do conjunto de alternativas técnicas para o projeto
		3	Selecionar a tecnologia e determinar de especificações admissíveis para o produto
		4	Selecionar as alternativas relacionadas, eliminando aquelas que não conferem sustentabilidade ao projeto, ou que introduzem riscos fatais (qualidade, volume dos recursos/reservas, aspectos tecnológicos, socioambientais, políticos etc)
		5	Desenvolver: WBS; definição do escopo; cronograma detalhado; plano de contratação; orçamento detalhado e dimensionamento da equipe
		6	Definir e nomear, para o início da próxima fase: patrocinador e líder de projeto
FEL 2	Selecionar e desenvolver as alternativas que foram identificadas no FEL 1, de forma a escolher, posteriormente, a	1	Mobilizar as funções chaves da equipe do projeto
		2	Desenvolver a matriz de responsabilidades da equipe do projeto, incluindo o seu dimensionamento
		3	Desenvolver a engenharia conceitual em níveis suficientes para que o escopo do empreendimento seja congelado no final de FEL 2

Fase	Objetivos	Principais Atividades	
	melhor delas. A equipe deve esgotar todas as possibilidades técnicas maximizando o valor em cada alternativa possível para o projeto proposto.	4	Selecionar: a tecnologia; a localização; e a logística definindo assim uma única alternativa para o projeto. Desenvolver o relatório executivo da justificativa da alternativa escolhida
		5	Atualizar: WBS; definição do escopo; cronograma detalhado; plano de contratação; e orçamento detalhado para a fase FEL 3
FEL 3	Confirmar os objetivos do projeto e do negócio por meio do aprofundamento dos estudos da alternativa escolhida no FEL 2, visando o planejamento da execução do projeto	1	Desenvolver a engenharia básica fundamentada nos estudos e no levantamento de dados reais
		2	Detalhar e definir o escopo, estimar os custos e controle do projeto, cronograma integrado com recursos carregados, caminho crítico etc
		3	Desenvolver o plano de execução do projeto
		4	Desenvolver o plano de suprimentos
		5	Concluir o relatório executivo do empreendimento
		6	Mobilizar a equipe de construção e desenvolver a matriz de responsabilidade para a fase de implantação

Quadro 8: Fases, objetivos e tarefas da metodologia FEL na mineradora Vale.

Fonte: Adaptado pelo autor de Vale (2011).

A Figura 15 apresenta as etapas de planejamento e execução de um empreendimento com as nomenclaturas adotadas neste trabalho. Conforme apresentado anteriormente, terminado a fase de planejamento do empreendimento, isto é, terminado a etapa do FEL, inicia-se a fase de execução da obra, conhecida como fase EPC (*Engineering, Procurement e Construction*); sendo a primeira fase do EPC, a fase EPC-0, conforme a Figura 15 – conhecida como pré-detalhamento do projeto – *Front End Engineering Design* (FEED). No FEED o projeto avança no seu detalhamento, partido do projeto básico, mas sem atingir o nível de detalhes do projeto executivo, algumas vezes chegando ao nível de 25% do detalhamento do empreendimento.

Ramos (2006) classifica a fase do FEED como a ponte entre o projeto conceitual e a implementação do empreendimento, e comenta um dos achados de sua pesquisa que é a pouca participação das áreas de operação e de manutenção da contratante do empreendimento no FEED, o que, segundo o autor, pode elevar os custos de operação e manutenção – *Operational Expenditure* (Opex).



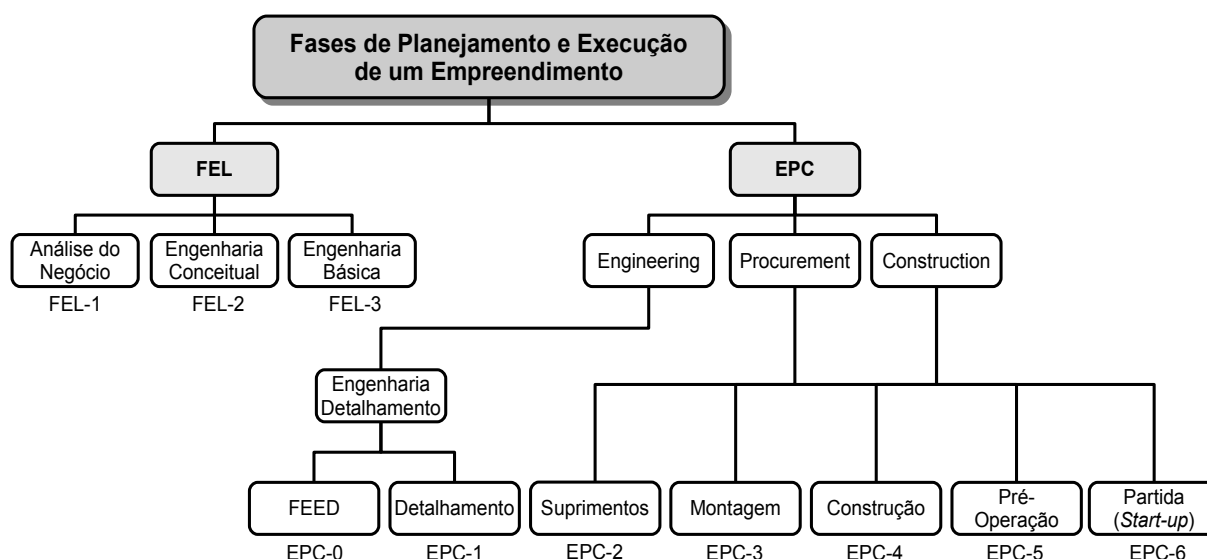


Figura 15: Fases de planejamento e execução de um empreendimento.

Fonte: Adaptado pelo autor de Ramos (2006)

Segundo Carvalho e Rabechini (2011) EPC é um tipo de contratação utilizada em projetos complexos onde se busca equipes mais especializadas e a mitigação dos riscos do projeto. O PMI (2013) afirma que, normalmente, as relações contratuais se enquadram em uma das duas grandes famílias de contratação, que são: o preço fixo (*fixed-price contract*); ou os custos reembolsáveis (*cost reimbursable contract*), além disso, há um terceiro tipo híbrido chamado de contratos tempo e materiais (*time and materials contract*). Especificamente no Brasil, Carvalho e Rabechini (2011) afirmam que o código civil possui os seguintes regimes de contratos: i) por administração; ii) por preço unitário; iii) por preço fixo; e iv) chave na mão (*turnkey*), além de outras denominações encontradas no ambiente corporativo, tais como: i) compensação por BDI (Benefícios e Despesas Indiretas); ii) empreitada global; e iii) EPC. Algumas das características principais do regime EPC são apresentadas por Wade (2005 como citado em Bahia e Farias, 2010, pp. 52–53), sendo elas: i) a responsabilidade pelo *design* fica somente com a contratada; ii) o contratante providencia os requisitos segundo os quais a contratada projeta; iii) a contratada realiza todo EPC e fornece as instalações plenamente equipadas e prontas para operação (*turnkey*); e iv) o contrato é do tipo preço global (*lump sum*).

Já Fontoura (2006 como citado em Bahia e Farias, 2010, p. 53) comenta das possibilidades de variações de contratações EPC, tais como: i) apenas a construção é contratada, isto é, o contrato contemplaria somente a parte da construção civil e montagem

eletromecânica, sendo os serviços de elaboração do projeto básico e/ou executivo e serviços correlatos, tais como sondagens, ensaios e testes de laboratório, assim como o fornecimento dos componentes eletromecânicos, sendo responsabilidade da contratante; ii) apenas a engenharia e a construção (*Design and Build* – DB) seriam contratadas, isto é, a parte contratada seria responsável tanto pelos serviços de elaboração dos projetos básico e executivo, da construção civil e da montagem eletromecânica, quanto pelo anteprojeto (projeto básico) de engenharia; já o fornecimento dos componentes (*Procurement*) ficaria sob a responsabilidade da parte contratante.

A Figura 16 apresenta graficamente as quatro fases do ciclo de vida de um empreendimento, sendo elas: i) concepção; ii) planejamento; iii) implementação; e iv) finalização. Stonner (2001, p. 16–17) faz as seguintes definições:

A engenharia básica tem como objetivos dimensionar a instalação, definir normas e critérios aplicáveis, avaliar custos de equipamento, montagem e instalação [...]. O custo da engenharia básica representa historicamente cerca de 2 a 3% do custo total do empreendimento.

A engenharia de detalhamento fornece insumos necessários para a compra de equipamentos e materiais, contratação de serviços de obras civis e montagem eletromecânica, execução da obra [...]. O custo da engenharia de detalhamento consiste em cerca de 5 a 10% do custo total do empreendimento.

A atividade de suprimento consiste em pesquisa de preços, colocação de pedidos de compra, diligenciamento de materiais, inspeção de recebimento e logística de materiais [...]. A aquisição de materiais e a respectiva gerência de suprimentos representam cerca de 30 a 50% do custo total do empreendimento.

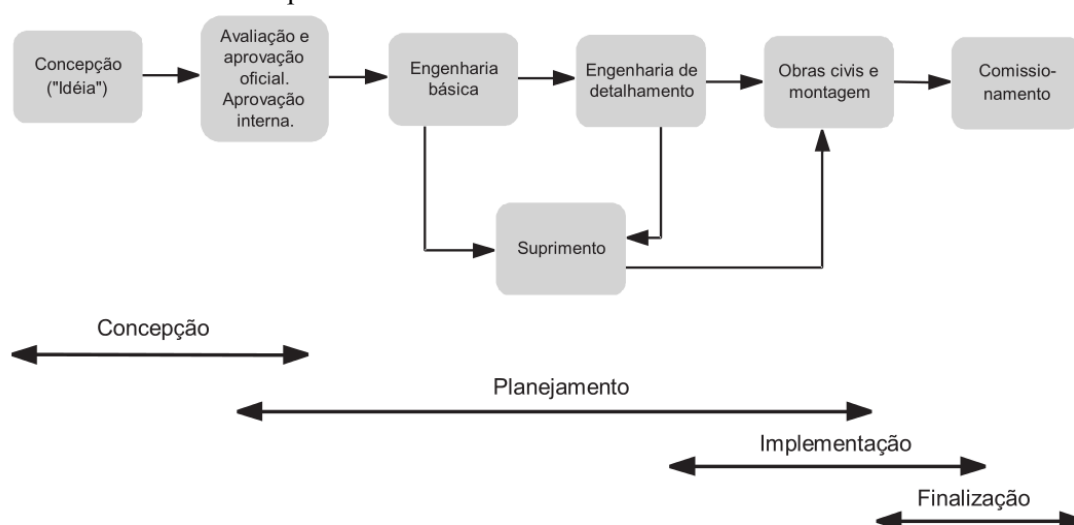


Figura 16: O ciclo de vida de um empreendimento.

Fonte: Stonner (2001).

A Figura 17 apresenta um exemplo típico de contratação de empreendimento, onde os projetos conceitual e básico são desenvolvidos pela contratante do empreendimento, já o projeto de detalhamento (executivo), a construção e montagem eletromecânica, o suprimento, e o comissionamento da planta é contratado. Contudo, em função de fatores da contratante, tais como: estratégia; experiência; maturidade; contexto econômico; entre outros, pode haver variados arranjos na configuração da contratação, tais como, contratar: i) só a construção e montagem eletromecânica; ii) o projeto de detalhamento e a construção e montagem; iii) os projetos básico e de detalhamento e a construção, dentre outras possibilidades. (Bahia & Farias, 2010; Stonner, 2001).

Para Assis (2012, p. 12) “os projetos de engenharia consistem na transformação de ideias em investimentos, e de investimentos em realizações, gerando, geralmente, retorno financeiro”. Para a autora, devido os projetos de engenharia envolverem diversas especialidades (sinalização, via permanente, mecânica, civil, elétrica, automação, processos, entre outras) e equipes de execução (construção e montagem), o gerenciamento dos projetos deve ser estruturado, de forma a alcançar os objetivos de custo, prazo e desempenho esperados.

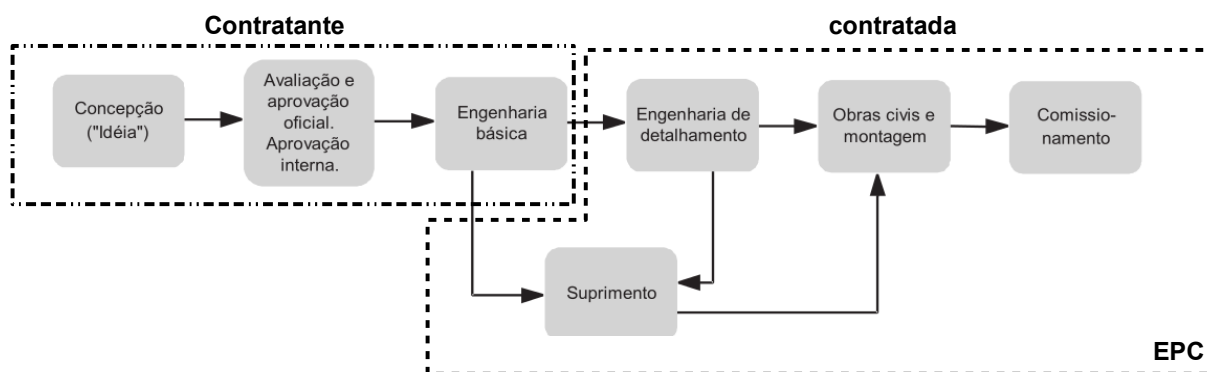


Figura 17: Exemplo do Escopo de Contratação.

Fonte: Produzido pelo autor, adaptado de Stonner (2001, p. 16)

Yamashina, Ito e Kawada (2002) citam o método conhecido como TRIZ, para apoiar à geração de ideia nos processos de desenvolvimento do projeto conceitual dos produtos. TRIZ é um acrônimo russo de Teoria para a solução dos problemas do inventor, proposta na Rússia por Genrich S. Altshuller. O método se propõe a resolver problemas técnicos e oferece estruturas inovadoras de produto, empregando uma base de conhecimento construído a partir das análises de aproximadamente 2,5 milhões de patentes, principalmente em desenho mecânico. O método é composto por três ferramentas básicas, sendo elas:

(a) os princípios de resolução de conflitos do sistema, que são 40 princípios para

resolver efetivamente os conflitos entre as necessidades do cliente;

(b) os efeitos, que são bases de conhecimento de física, química e efeitos geométricos e as regras para a resolução de problemas;

(c) o modelo substância-campo para a modelagem de um problema tecnológico na forma de dois materiais e sua interação e para derivar as respostas do que fazer a mudança interação acima em na direção desejada.

### 2.1.3.3 Análise do negócio – FEL -1

Conforme apresentado na seção anterior, a fase FEL-1 da metodologia *Front-End Loading* trata da análise do negócio, definido pelo IIBA (2011, p. 5) como:

O conjunto de atividades e técnicas utilizadas para servir como ligação entre as partes interessadas, no intuito de compreender a estrutura, políticas e operações de uma organização e para recomendar soluções que permitam que a organização alcance suas metas.

Uma das atividades do FEL-1, listada no Quadro 8, é o desenvolvimento do plano de negócios da oportunidade (*business case*). O *business case* descreve a justificativa para o empreendimento em termos de valor a ser adicionado ao negócio como resultado de sua implementação. Ele deve listar as restrições associadas ao empreendimento proposto, o orçamento estimado e o alinhamento com as estratégias estabelecidas pela organização, pode incluir benefícios qualitativos (intangíveis) e quantitativos (tangíveis), estimativas de custos e tempo até o ponto de equilíbrio, expectativas de lucros e oportunidades adicionais; pode ainda apresentar os impactos esperados das ações sobre o fluxo de caixa e os métodos e o raciocínio usados para a quantificação dos benefícios e dos custos. (IIBA, 2011). A Figura 18 apresenta as entradas para o processo de definição do *business case*, e o Quadro 9 detalha essas entradas, bem como as técnicas utilizadas e as partes interessadas.

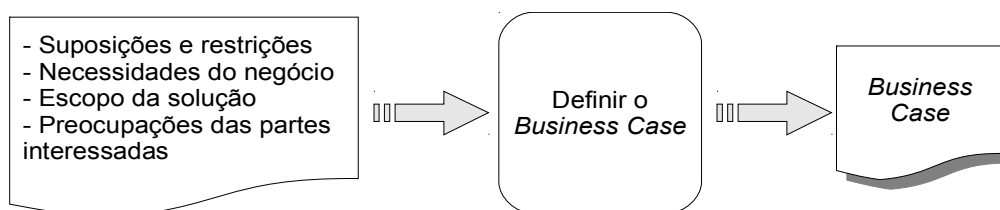


Figura 18: Diagrama de Entrada/Saída de definição do *business case*.

Fonte: Adaptado pelo autor de IIBA (2011).

Entradas	As suposições e restrições, trata das suposições referentes as receitas geradas ou retidas pela solução, ou melhorias não-financeiras que ela trará
	Necessidades do negócio, define o valor que uma solução entregará à organização e como ela se alinha às metas e objetivos do negócio
	Escopo da solução, define as capacidades que serão implementadas, os métodos que serão usados para entregá-las e as áreas da organização que serão afetadas
	Preocupação das partes interessadas, podem incluir riscos ou questões que devem ser levados em conta no <i>business case</i>
Técnicas	Análise de decisão: são de dois tipos: i) análise de custo/benefício que compara os custos da implementação de uma solução versus os benefícios a serem ganhos; ii) análise financeira inclui o uso de modelos financeiros que estimam o valor de mercado de um ativo organizacional
	Estimativa: previsão do tamanho do investimento necessário para lançar e operar a solução proposta
	Métricas e indicadores-chave de desempenho: são avaliados para apoiar o gerenciamento dos benefícios, medição e reportes, incluindo onde o realinhamento de medições internas ou de sistemas é necessário para garantir que os comportamentos buscados podem ser vistos, avaliados e compreendidos
	Análise de riscos: usada para avaliar riscos potenciais que possam impactar da solução e os custos e benefícios associados a ela
	Análise de SWOT: ferramenta que demonstra como a solução auxiliará a organização a maximizar forças e a minimizar fraquezas
	Avaliação de fornecedores: se a aquisição ou terceirização está sendo considerada, uma avaliação de fornecedor pode ser executada como parte do <i>business case</i>
Partes Interessadas	Patrocinador: aprova o <i>business case</i> e autoriza o financiamento
	Especialista no assunto: auxilia na estimativa dos benefícios de negócio esperados da nova iniciativa
	Especialista na implementação da solução: auxilia na estimativa de projeções de custos para a tecnologia necessária para suportar a nova solução
	Gerente do projeto: participa no desenvolvimento das estimativas de tempo e custo e pode desenvolver um plano de projeto preliminar ou estrutura analítica do projeto junto à equipe do projeto. O gerente do projeto usará o <i>business case</i> como uma entrada para o termo de abertura do projeto

Quadro 9: Entradas, técnicas e interessados no *business case*.

Fonte: Adaptado pelo autor de IIBA (2011).

Especificamente com relação à técnica de análise de risco, seu propósito é determinar se a iniciativa proposta traz mais risco do que a organização está disposta a tolerar, ela foca principalmente os riscos de viabilidade da solução que deve ser revisitada ao longo do projeto; devem ser considerados os riscos: i) técnicos, isto é, se uma tecnologia escolhida e os fornecedores podem entregar as funcionalidades requeridas; ii) financeiros, se os custos excederão níveis que tornam a solução viável ou se os benefícios potenciais podem ser anulados; e iii) organizacionais e de mudança nos negócios. (IIBA, 2011). Nesta mesma linha, Kerzner (2011) afirma que bons *business case* identificam os riscos que o projeto deve considerar.

Segundo Ribeiro (2011, p. 21), na metodologia de gerenciamento projetos PRINCE2™, comentada no Quadro 4, o *business case* é:

[...] um estudo que visa justificar a viabilidade de investimento para o planejamento e a execução de esforços para alcançar um resultado esperado. A proposta do Tema *Business Case*, no método PRINCE2™, é estabelecer mecanismos para saber se o projeto continua sendo viável, desejável e realizável. O *Business Case* deve suportar as tomadas de decisão do *Project Board* quanto à continuação ou não do projeto.

Nesta metodologia, um projeto para ser iniciado necessita ser justificado pelo negócio, isto é, deve existir uma justificativa plausível e aprovada, que deve se manter válida durante todo o ciclo de vida do projeto, caso contrário o projeto deve ser descontinuado, de forma a poupar e/ou realocar investimentos e esforços em outras iniciativas. A justificativa ocorre por meio de um *business case* que deve legitimar o investimento no projeto com base nas estimativas de custo, prazo e esforço, contra os riscos associados e benefícios que possam ser alcançados. Um documento de *business case* pode conter os seguintes tópicos: i) razões do projeto – explicando o porque dele ser executado; ii) alternativas de projeto – avaliando as possíveis alternativas de desenvolvimento do produto do projeto; iii) situação atual – relato do cenário atual com detalhes dos problemas e dificuldades enfrentadas; iv) situação futura – descrição dos benefícios e resultados esperados com a implementação do projeto; v) riscos envolvidos – identificação dos riscos e suas respectivas respostas, para todas as alternativas de projetos; vi) estimativa de custos e prazos – para todas as alternativas de projetos; vii) investimentos necessários – para todas as alternativas de projetos; e viii) métodos de avaliação dos resultados. (Ribeiro, 2011). Na metodologia PRINCE2™, o *business case* passa por quatro etapas, sendo elas as etapas de: i) desenvolvimento do *business case* – que tem início no pré-projeto e término no fim do estágio de inicialização; ii) verificação do *business*

*case* – onde a validade do projeto é avaliada, essa verificação acontece sempre ao final dos estágios de pré-projeto, inicialização, e entrega(s) subsequente(s); iii) manutenção do *business case* – onde ele deve ser atualizado quanto aos custos, benefícios e resultados alcançados, bem como quanto as previsões de prazo, custos, benefícios, entre outras. Esta etapa começa com o início do estágio de entrega(s) subsequente(s) e vai até o fim do estágio de entrega final; e iv) confirmação do *business case* – aqui os benefícios são avaliados, verificando se foram ou ainda serão alcançados com o projeto. Esta etapa acontece ao término dos estágios de entrega(s) subsequente(s), de entrega final, e de pós-projeto. (Ribeiro, 2011). A Figura 19 ilustra essas etapas.

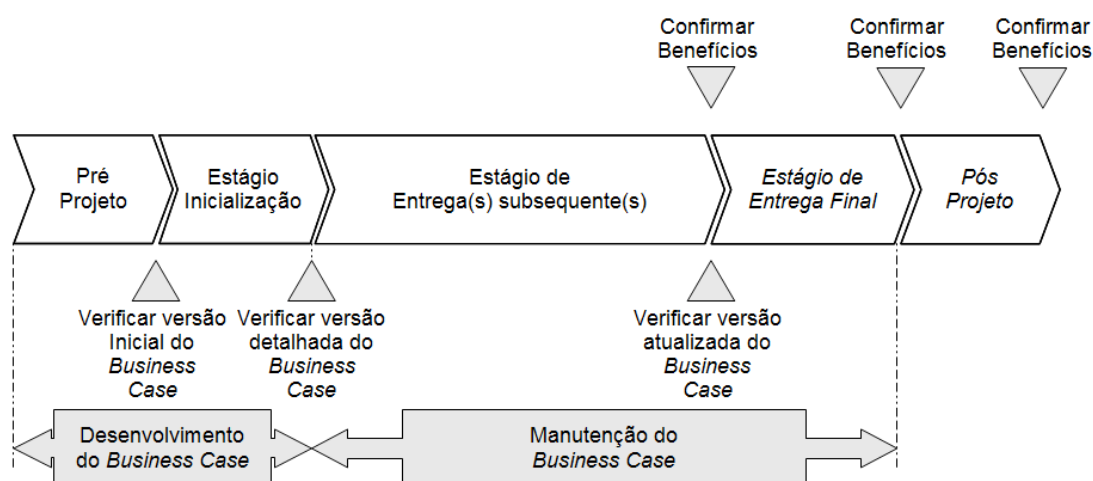


Figura 19: Etapas do *business case* no PRINCE2™.

Fonte: Adaptado pelo autor de Ribeiro (2011).

Para o PMI (2013) o *business case* fornece as informações necessárias, do ponto de vista do negócio, para determinar se o investimento no projeto é viável ou não, isto é, é utilizado para a tomada de decisão, por parte da alta direção, em um nível decisório superior ao do projeto. Normalmente ele contém as necessidades do negócio e a análise de custo-benefício para justificar e estabelecer limites para o projeto. Essa análise, normalmente, é feita por um analista de negócios utilizando várias entradas das partes interessadas, sendo que o patrocinador do projeto deve concordar com o alcance e as limitações da análise realizada. Normalmente, o *business case* é criado como resultado de um ou mais fatores, tais como: i) demanda de mercado; ii) necessidade organizacional; iii) solicitação do cliente; iv) avanço tecnológico; v) um requisito legal; vi) Impactos ecológico; e vii) necessidade social.

Uma das 10 áreas de conhecimentos em gerenciamento de projetos apresentadas no

Guia PMBOK® é a área do gerenciamento da integração do projeto; essa área inclui os processos e as atividades necessárias para identificar, definir, combinar, unificar e coordenar os vários processos e atividades dos grupos de processos de gerenciamento. O gerenciamento da integração do projeto é constituída por seis processos, sendo um deles o processo de desenvolver o termo de abertura do projeto, também conhecido como *project charter*, que consiste no desenvolvimento de um documento que autoriza formalmente a inicialização de um projeto. A Figura 20 apresenta: as cinco entradas; as duas técnicas e ferramentas; e a saída deste processo, que é o termo de abertura do projeto. (PMI, 2013).

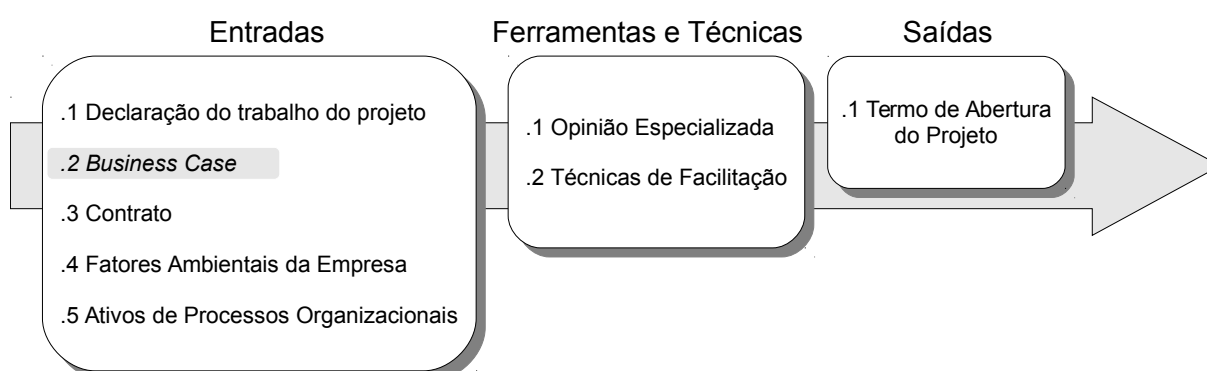


Figura 20: Desenvolver o Termo de Abertura do Projeto.

Fonte: Adaptado pelo autor de PMI (2013).

Com relação ao gerente do projeto, o PMI (2013, p. 66) afirma que:

Um gerente de projeto é identificado e designado o mais cedo no projeto quanto possível, de preferência, enquanto a abertura do projeto está sendo desenvolvida e sempre antes do início do planejamento.

Como uma das entradas para o desenvolvimento do Termo de Abertura do Projeto é o *business case*, conforme a Figura 20, entende-se que na visão do PMI (2013) o gerente de projeto não participa do desenvolvimento do *business case*. Kerzner (2011, pp. 593-594) apresenta três argumentos que as empresas utilizam para justificar a ausência do gerente do projetos no desenvolvimento do *business case*:

O gerente de projetos pode não ser capaz de contribuir para o desenvolvimento do *business case*;

O projeto pode não ser aprovado e/ou financiado, e seria um custo adicional ter o gerente de projetos a bordo antecipadamente; e

O projeto pode não estar suficientemente bem definido para determinar numa fase precoce a melhor pessoa a ser designada como o gerente de projetos.

O autor comenta que a razão da crença da pouca contribuição do gerente de projetos no



desenvolvimento do *business case* é que estes nunca foram treinados para realizar estudos de viabilidade e análises de custo-benefício. Mas enfatiza que embora esses três argumentos pareçam ter mérito, a não participação do gerente de projetos causa um outro problema, ainda mais grave, que é a possibilidade dele não conhecer suficientemente as premissas, restrições e alternativas consideradas no desenvolvimento do *business case*, para o desenvolvimento do plano do projeto.

Conforme já apresentado, a visão de Shenhar e Dvir (2010), com relação à participação do gerente de projetos no desenvolvimento do *business case* é antagônica a visão do PMI (2013), sendo que para Shenhar e Dvir (2010) o gerente de projetos tem sua atuação expandida, passando a responder também pelo sucesso do resultado do projeto para o negócio da empresa, além de continuar com as responsabilidades da execução do projeto. O IIBA (2011), conforme apresentado no Quadro 9, também compartilha do entendimento que o gerente de projetos deve participar do desenvolvimento do *business case*. Ainda com relação ao envolvimento do gerente de projetos com a estratégia de negócios, para Kerzner (2011, p. 593) o escritório de projetos deve desenvolver conhecimentos em estudos de viabilidade, análises de custo-benefício e desenvolvimento de *business case*, tornando-se o especialista da empresa nestes assuntos, afirmando que:

Uma das melhores maneiras para um escritório de projetos apoiar a função de planejamento estratégico corporativo é tornando-se especialista no desenvolvimento de *business case*. Mais especificamente, isso inclui conhecimentos em estudo de viabilidade e análise de custo-benefício.

Já com relação à seleção de projetos para a formação do portfólio, Kerzner (2011) afirma que o gerente de projeto contemporâneo pode participar deste processo, visto sua excelente habilidade para os negócios e competências em gerenciamento de projetos, podendo atuar desde a fase de inicialização, fornecendo os seguintes conhecimentos do negócio: i) opções de oportunidades (volumes de vendas, participação de mercado e negócios posteriores); ii) requisitos dos recursos; iii) custos refinados do projeto; iv) economias refinadas; v) benefícios (financeiros, estratégicos, *payback*); vi) métricas do projeto; vii) realização de benefícios; viii) riscos; ix) estratégias de saídas; x) prontidão e pontos fortes organizacionais; xi) cronogramas/marcos; xi) complexidade geral; e xii) complexidades tecnológicas e restrições, se houverem. Kerzner (2011, p. 585) afirma que:

Hoje, os gerentes de projetos devem tomar decisões firmes de negócios, em vez de apenas decisões de projetos ou técnicas. [...] As empresas estão lentamente percebendo que estão administrando seus negócios por projetos.

Bonomi e Malvessi (2008) apresentam um roteiro para o desenvolvimento do *Business Plan*, que deve conter os seguintes detalhes: i) descrição do empreendimento; ii) declaração da missão; iii) estágio de desenvolvimento; iv) produtos e serviços; v) mercado(s) alvo(s); vi) estratégia de marketing e vendas; vii) concorrentes e distribuição de mercado; viii) diferenciação e vantagens sobre a concorrência; ix) administração; x) operações; xi) metas de longo prazo; xii) riscos; xiii) obtenção de recursos; xiv) resultados e criação de valor; e xv) estratégias de saídas.

#### 2.1.3.4 Risco em projetos

Na pesquisa realizada por Ibbs e Kwak (2000), com 38 empresas de quatro setores diferentes, o gerenciamento de risco obteve a pior avaliação dentre as oito áreas de conhecimento em gestão de projetos ali avaliadas. No entanto, após a publicação dessa pesquisa, a preocupação com gerenciamento de riscos tomou um novo rumo na comunidade de gerenciamento de projetos. (Rabechini & Carvalho, 2012). Segundo Wideman (1992, p. I-3), no contexto da gestão de projetos: “o risco do projeto é o efeito cumulativo das chances da ocorrência de uma incerteza adversa afetar os objetivos do projeto”. Portanto, o conceito de risco do projeto está relacionado com as incertezas; sendo que, quando a probabilidade do evento de uma incerteza for conhecida tem-se um risco. (Perminova, Gustafsson, & Wikström, 2008).

Morgan e Henrion (1990 como citado em Rovai, 2005, p. 48) enfatizam que os riscos são eventos sobre os quais se pode refletir em termos de serem factíveis de ocorrer, enquanto que a incerteza é o domínio do imprevisível, daquilo sobre o qual, naquele momento, não é possível prever. Kerzner (2011, p. 457) define risco de um projeto como: “uma medida da probabilidade e consequência se não de atingir uma meta definida do projeto”. Para esse autor, o risco possui dois componentes principais para um determinado evento, sendo eles: i) a probabilidade de ocorrência do evento; e ii) o impacto ou a consequência dessa ocorrência.

Para Thamhain (2013, p. 22) o risco é composto de um conjunto complexo de variáveis, parâmetros e condições que têm o potencial de impactar de forma adversa uma atividade ou um evento particular, tal como um projeto. Para lidar com os riscos, ele propõe um constructo com, no mínimo, três conjuntos de variáveis inter-relacionadas, sendo elas: o

grau de incerteza; a complexidade do projeto; e o impacto.

Um conceito do senso comum é associar os riscos a eventos negativos, nesse sentido, conforme Rovai (2005, p. 48):

Embora a maior parte dos autores caracterizem os riscos como ameaças, os riscos podem se transformar em oportunidades, entretanto, quando os mesmos se materializam efetivamente em sua maior parte são ameaças.

Nesse sentido, Shenhar e Dvir (2010) afirmam que riscos e oportunidades, normalmente, variam em função do tipo de projeto, sendo que, quanto maior o risco oferecido por um projeto, tanto maior serão suas oportunidades.

Hall e Hulett (2002) abordam a importância do entendimento dos tipos de riscos que envolvem os projetos, de forma a identificar quais deles poderão afetar algum dos objetivos do projeto. Nesta mesma linha, Campos e Gomes (2005), afirmam que para a implementação dos empreendimentos onde seus financiadores se baseiam nos ganhos econômicos e financeiros, por meio da análise do seu fluxo de caixa, para o pagamento dos empréstimos (*Project Finance*) e nos projetos que ainda estão em fase pré-operacional de estudo e desenvolvimento (*green field*) uma das atividades primordiais é do projeto é dimensionar os seus riscos e, a partir daí, procurar medi-los, a fim de estabelecer instrumentos eficazes de mitigação. Dessa forma, se os instrumentos de mitigação forem precificados, é possível calcular o custo monetário dos riscos. (Pollio, 1999 como citado em Campos e Gomes, 2005, p. 109). Segundo Bonomi e Malvessi (2008, p. 34):

O *Project Finance* surgiu no Brasil na década de 90 como um instrumento inovador, capaz de apresentar uma nova estrutura societária e financeira para novos negócios, mecanismo que possibilita ao investidor e/ou sponsor segmentar e compartilhar as relações risco-retorno [*sic*] de novos investimentos.

Na precificação dos riscos, é fundamental a realização de uma análise flexível, considerando a combinação de eventos que possam ocorrer, bem como a própria combinação dos riscos; uma ferramenta que consegue essa flexibilidade na análise é o método da Árvore de Decisão. Esse método permite a valoração das consequências previstas no processo de tomada de decisão, incorporando as possíveis ações a serem tomadas na ocorrência dos riscos e suas medidas mitigatórias, tais como: adiantamento; expansão; mudanças de estratégia, entre outras. (Campos & Gomes, 2005).

### 2.1.3.5 Modelagem econômico-financeira de projetos

Em uma perspectiva financeira a seleção de projetos é basicamente um processo que envolve duas partes, sendo elas: o estudo para determinar se o projeto pode ser realizado; e a análise de custo-benefício para ver se a empresa deve realizá-lo. (Kerzner, 2011).

A fase de estudo de viabilidade considera os aspectos técnicos das alternativas conceituais e fornece uma base mais fundamentada sobre a decisão se o projeto será ou não realizado, sendo seu propósito: i) planejar as atividades de desenvolvimento e execução do projeto; ii) realizar as estimativas de tempo, de pessoal, e os requisitos de equipamentos; iii) identificar custos e as consequências prováveis em caso de investimento. O objetivo é decidir continuar ou não com os esforços nas fases seguintes de requisitos, desenvolvimento e implementação, confirmando que o projeto atende às viabilidades de custos, tecnológicas, de segurança, de comercialização, e facilidades para execução dos requisitos. O estudo deve identificar se as soluções são operacionais, técnicas e economicamente viáveis. Sendo importante a participação do usuário principal da solução no estudo, contudo, este deve ser altamente qualificado, ter familiaridade com o nível organizacional da empresa e visão das operações de linhas. (Kerzner, 2011).

Segundo Kerzner (2011, p. 266) “Na fase de estudo de viabilidade é necessário definir abordagens básicas do projeto e seus limites de escopo”. Um estudo de viabilidade típico, envolve: i) avaliar resumidamente: as alternativas; o potencial de mercado; a relação custo efetividade; a produtividade; e a base técnica; ii) avaliar detalhadamente: uma determinação mais específica do problema; análise da tecnologia de ponta; avaliação das capacidades técnicas internas; testar a validade das alternativas; quantificar as fraquezas e os desconhecidos; e conduzir análise de compensação sobre o tempo, custos e desempenho; iii) elaborar metas e objetivos iniciais do projeto; e iv) elaborar estimativas preliminares de custos e o plano de desenvolvimento.

Para Campos e Gomes (2005, p. 108) o trabalho de avaliação econômico-financeira consiste:

[...] na projeção do comportamento futuro dos parâmetros básicos da empresa. O trabalho é desenvolvido em duas etapas consecutivas: a identificação de parâmetros econômicos que influenciam as operações da empresa e as projeções dos resultados esperados.

Segundo Alkaraan e Northcott (2006) os métodos tradicionais de análise de

investimentos são: i) o valor presente líquido do fluxo de caixa; ii) a taxa interna de retorno; iii) os *payback* simples e *payback* ajustado; iv) o índice de lucratividade; e v) a taxa interna de retorno ajustada. Nesta mesma linha, Copeland (1994 como citado em Campos e Gomes, 2005, p. 107) afirma que as abordagens e metodologias utilizadas por profissionais de mercado são resumidas em: i) abordagens financeiras, tais como os métodos do fluxo de caixa descontado e do desconto de dividendos; ii) abordagem de mercado, como as análises de transações comparáveis, e de empresas comparáveis; iii) abordagem de custos, como o valor contábil ou valor contábil ajustável, e o valor de liquidação; e iv) as abordagens mistas. Contudo, não há consenso sobre qual dos métodos é o mais utilizado. (Alkaraan & Northcott, 2006). E conforme explanado por Damodaran (1996 como citado em Campos e Gomes, 2005, p. 107) o problema no processo de avaliação de negócios é a escolha do modelo correto e sua correta utilização.

O método do FCD é capaz de traduzir o valor econômico de um empreendimento, tanto na fase de projeto, como já na fase operacional. Ele consiste na projeção do comportamento futuro dos parâmetros econômicos básicos da empresa ou negócio, e é desenvolvido em duas partes: i) a identificação dos parâmetros econômicos que influenciam as operações da empresa; e ii) as projeções dos resultados esperados. (Campos & Gomes, 2005).

A primeira etapa é constituída: i) pelas análises dos demonstrativos históricos; e ii) pela confrontação dos dados históricos da empresa com as variáveis macroeconômicas, considerando os contextos econômicos, sociais e político. A fase seguinte, que é a avaliação econômico-financeira propriamente dita, projeta-se um cenário que retrate realisticamente as expectativas futuras da empresa. Os resultados projetados são trazidos a valor presente por meio da taxa de desconto, depois, são acrescidos os valores não operacionais e financeiros e subtraídos os passivos de mesma natureza; como resultado, tem-se o valor econômico da empresa ou do negócio, na data base da análise. (Campos & Gomes, 2005).

Titman e Martin (2010) e Graham e Harvey (2002) afirmam que uma das formas mais utilizadas para analisar a decisão de investimento é a metodologia do FCD. Contudo, pensando na modelagem dos contratos de PPP, às garantias governamentais oferecidas nesses projetos diminuem os seus níveis de riscos. Nesse sentido, Brandão et al. (2012, p. 12) afirmam que:

[...] os métodos tradicionais de análise de projetos de investimento, como o

método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), não podem ser utilizados, pois não há como se saber, *a priori*, qual a taxa de desconto que corresponde a essa redução no risco do projeto. [...] Dessa forma, a valoração do projeto exige o uso de métodos de apreçamento de opções, ou opções reais.

A base teórica do método das opções reais remonta aos trabalhos de Black e Scholes (1973) e Merton (1973), que trataram do apreçamento de opções financeiras. Este método permite a captura do valor das flexibilidades gerenciais (opções) dos ativos reais existentes no projeto. Brandão et al. (2012), aplicaram esse método na modelagem dos incentivos governamentais existentes no contrato da PPP da Linha 4 do Metrô. Eles citam ainda como exemplos de aplicações do método: i) a avaliação de um reservatório de petróleo com incertezas no preço; e ii) as análises de estratégias operacionais em uma mina de cobre. Afirmam também que a literatura sobre a aplicação do método em projetos de infraestrutura é extensa, citando como exemplos: i) o projeto da rodovia pedagiada de Melbourne na Austrália (*Melbourne Central Toll Project*); ii) o projeto de ampliação da ponte entre a Malásia e Cingapura; e iii) o projeto do trem-bala de Taiwan (*Taiwan High-Speed Rail Project*).

Com relação ao valor a ser adicionado ao negócio, Bonomi e Malvessi (2008), citam a metodologia de Criação de Valor ao Acionista com foco na abordagem Valor Econômico Criado (VEC), que segundo os autores é baseado nos princípios modernos de finanças corporativas, sendo um instrumento de medida de performance econômico-financeira.

## 2.1.4 Quadro resumo do eixo teórico Gerenciamento de Projetos

O Quadro 10 apresenta um resumo dos principais autores e trechos citados do eixo teórico (polo) Gerenciamento de Projetos que ajudam a responder a questão de pesquisa.

Autor	Trecho
Murça e Müller (2014, p. 265)	A análise e previsão de demanda de setores estratégicos para a economia é um dos itens essenciais no processo de planejamento de investimentos em um país
Campos (2013)	Para um adequado planejamento de transportes [...] necessidade da realização de uma estimativa da demanda, de forma a subsidiar a tomada de decisão [...]
Flyvbjerg (2013, p. 764)	Previsões de demanda são importantes para os gerentes de projetos e tomadores de decisão porque influenciam tanto o custo como o risco da receita dos projetos. As previsões afetam as decisões do

Autor	Trecho
	projeto básico, porque elas determinam a capacidade e dimensão das instalações e sistemas que estão sendo planejados para o transporte ferroviário, por exemplo: o número de vias, o número e o comprimento dos trens, o comprimento das plataformas da estação, e o tamanho das estações
Motta (2013, p. 56)	[...] importância da fase de concepção dos projetos e aborda o método do planejamento antecipado ( <i>Front-End Planning</i> ) como um elemento chave para o sucesso de um projeto. [...] esse método é dividido em três fases, onde a primeira delas tem como meta definir os objetivos do negócio, identificando oportunidades de investimento e desenvolvendo alternativas de soluções. [...] Nesta fase são iniciados o desenvolvimento do plano de negócio, a avaliação econômica, <b>a previsão de mercado</b> , os estudos competitivos e as estimativas iniciais de custo. É uma etapa de criação de valor.
Mulisani (2013, p. 58)	Com relação à tomada de decisão nos portões (gates) do modelo <i>Stage-Gate</i> ® [...] A avaliação é feita considerando análise econômica, além de aspectos sociais ambientais e técnicos
Ribeiro et al. (2013, p. 60–61)	Uma forma de minimizar o risco dos investimentos é procurar fazê-los em projetos que estejam alinhados à estratégia organizacional e que realmente agreguem valor ao negócio, assim, o desenvolvimento de um processo para a gestão eficaz do portfólio de projetos é necessário. A metodologia <i>Front-End Loading</i> é utilizado em megaprojetos, onde os investimentos são de valor elevados, com a intenção de minimizar os riscos de investimentos em projetos desta natureza. Normalmente ela é aplicado em [...] projetos de alta complexidade e custos excessivos
Brandão et al. (2012, p. 12)	[...] Na modelagem dos contratos de PPP, às garantias governamentais oferecidas nesses projetos diminuem os seus níveis de riscos. [...] os métodos tradicionais de análise de projetos de investimento, como o método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), não podem ser utilizados, pois não há como se saber, a priori, qual a taxa de desconto que corresponde a essa redução no risco do projeto. [...] Dessa forma, a valoração do projeto exige o uso de métodos de apreçamento de opções, ou opções reais
Bosch-Rekveltd (2011, p. 25)	Ao aplicar um processo de gestão estruturado em fases do projeto é assegurado que as etapas do processo de gerar as informações necessárias com a decisão final de investimento são tomadas na ordem certa, de forma que, se alguns aspectos não estão bem desenvolvidos, este problema pode ser resolvido antes das despesas serem executadas, e ainda há a capacidade de filtrar os projetos que não estejam alinhados à estratégia da empresa

Autor	Trecho
Kerzner (2011)	O processo <i>Stage-Gate</i> ® parece ter sido substituído por fases do ciclo de vida do projeto [...] Com esta nova utilização, o processo <i>Stage-Gate</i> ® passa ser parte integrante do gerenciamento de projetos, quando anteriormente era utilizado, primeiramente, no desenvolvimento de novos produtos
Rolstada et al. (2011, p. 1)	Com a crise financeira global de 2008-2009 [...] tornou-se claro que os executivos em todos os setores e em todo o mundo estavam, talvez sem saber, tomando decisões críticas, sem um completo entendimento dos riscos envolvidos; e é claro que isso também é verdade para as decisões de investir em grandes projetos de capital
Vale (2011, p. 27–28)	[...] Objetivos do FEL -1: Partindo da análise da atratividade do negócio, desenvolver e avaliar as oportunidades de investimentos, alinhadas sempre com as metas e estratégias da empresa [...] Principais atividades: Desenvolver o plano de negócios da oportunidade ( <i>business case</i> )
Moraes (2010, p. 9)	O gerenciamento dos trabalhos de análise de viabilidade e concepção de empreendimentos de capital pode em si ser considerado um projeto, que precisa ser gerenciado
Shenhar e Dvir (2010, p. 36)	Em uma perspectiva de negócios, as expectativas de sucesso de um projeto devem ser definidas ainda durante a sua fase de planejamento, e mais adiante, o seu sucesso efetivo deve ser avaliado
Titman e Martin (2010, p. 90); Graham e Harvey (2002)	Uma das formas mais utilizadas para analisar a decisão de investimento é a metodologia do FCD
Marques (2009, p. 15)	[...] abordagem tradicional da gestão de projetos é inadequada para a gestão de projetos complexos e incertos; isto, devido ao seu enfoque racional e normativo que acredita que o sucesso do projeto vem da aplicação de melhores práticas normalizadas, sendo essas práticas, as mesmas independentemente do tipo e natureza dos projetos
Corrêa (2008)	Dentre tantas técnicas desenvolvidas (Previsão de Demanda), as redes neurais artificiais (RNA) têm sido apontadas como eficientes e sendo apresentadas como alternativas de modelagem em diversas áreas de conhecimentos
Laiza et al, (2008, p. 122)	Os estudos de previsão de demanda são uma etapa fundamental na elaboração de empreendimentos de transporte, pois fornecem as informações necessárias na elaboração dos projetos e na escolha de alternativas
Jergeas (2008, p. 95)	[...] a causa dos excessos de custos na construção civil e em projetos de engenharia não são únicas, [...] o CII identificou várias



Autor	Trecho
	razões [...] entre elas as falhas no planejamento antecipado ( <i>front-end planning</i> )
Duarte (2008, p. 12–127)	Os estudos para definição da rede futura do metrô têm seu marco inicial no planejamento de transporte, após a realização das pesquisas de origem e destino das viagens das pessoas na metrópole
Flyvbjerg (2007)	Analisou 22 projetos – implantados em todo o mundo desde 1966 – constatando que em $\frac{3}{4}$ desses a demanda real de passageiros não alcançou 40% da demanda estimada
Gibson et al. (2006, p. 35)	O pré-planejamento de projetos ou ainda planejamento antecipado de projeto é o processo que abrange todas as tarefas entre o início do empreendimento e o início do design detalhado. Ela começa com um conceito de projeto para atender uma necessidade de negócio e termina com uma decisão de prosseguir com o projeto detalhado do projeto proposto
Campos e Gomes (2005, p. 108-109)	<p>Na precificação dos riscos, é fundamentação a realização de uma análise flexível, considerando a combinação de eventos que possam ocorrer, bem como a própria combinação dos riscos; uma ferramenta que consegue essa flexibilidade na análise é o método da Árvore de Decisão.</p> <p>O trabalho de avaliação econômico-financeira consiste [...] na projeção do comportamento futuro dos parâmetros básicos da empresa. O trabalho é desenvolvido em duas etapas consecutivas: a identificação de parâmetros econômicos que influenciam as operações da empresa e as projeções dos resultados esperados</p>
Hair et al. (2005, p. 545)	Enquanto as técnicas de análise multivariadas de dados caracterizam os problemas em uma abordagem matemática, as RNA usam uma estrutura de aprendizagem, similar ao cérebro humano, desenvolvendo uma estratégia de processamento paralelo, onde os erros de saída realimentam o sistema de forma a ajustá-lo adequadamente
Flyvbjerg et al. (2003 como citado em Jergeas, 2008, p. 95)	[...] Megaprojetos de infraestrutura que experimentaram elevado excesso de custos, identificando como as principais causas disso a deliberação inadequada sobre o risco e a falta de prestação de contas no processo de tomada de decisões do projeto
Batavia (2001 como citado em Ramos, 2006, p. 54)	A metodologia FEL é uma etapa que envolve a análise preliminar da organização e do empreendimento e a realização da engenharia básica. A sua execução deve ser imediatamente anterior às fases de engenharia de detalhamento, de gestão de suprimentos, de construção, de montagem e de comissionamento de um projeto. O objetivo desta etapa é gerar um planejamento detalhado com um pacote de engenharia bem definido, que garanta que o progresso será conduzido de forma suave, com o mínimo de mudanças e

Autor	Trecho
	retrabalho, durante a execução da fase de engenharia de detalhamento
Stonner (2001, p.13)	[...] Empreendimento tem uma acepção muito mais abrangente que Projeto, [...] compreendendo: as etapas de concepção, avaliação de mercado, estudo de viabilidade técnico-econômica, projeto básico e de detalhamento, gerência de suprimentos, obras civis e montagem eletromecânica, testes e pré-operação
Pollio (1999 como citado em Campos e Gomes, 2005, p. 109)	Para a implementação dos empreendimentos onde seus financiadores se baseiam nos ganhos econômicos e financeiros, por meio da análise do seu fluxo de caixa, para o pagamento dos empréstimos – conhecidos como <i>Project Finance</i> – e nos projetos que ainda estão em fase pré-operacional de estudo e desenvolvimento – conhecidos como <i>green field</i> – uma das atividades primordiais é dimensionar os seus riscos e, a partir daí, procurar medi-los, a fim de estabelecer instrumentos eficazes de mitigação. Dessa forma, se os instrumentos de mitigação forem precificados, é possível calcular o custo monetário dos riscos.
Copper (1993 como citado em Sales e Canciglieri, 2011, pp. 6-7)	A obtenção de um plano eficiente para o desenvolvimento de um novo produto permite: [...] o foco nas atividades iniciais ( <i>front-end</i> ) de desenvolvimento do produto, já que estimula a investigação preliminar, a atenção ao escopo e minimiza alterações no decorrer do projeto que geram grandes custos. Essa abordagem recebeu o nome de modelo <i>Stage-Gate®</i> de tomada de decisões

Quadro 10: Quadro resumo do eixo teórico Gerenciamento de Projetos.

Fonte: Produzido pelo autor.

## 2.2 PROJETOS DE INFRAESTRUTURA

É mais fácil exemplificar do que definir projetos de infraestrutura, segundo Grimsey e Lewis (2002) os investimentos em infraestrutura são pensados para fornecer os serviços básicos para a indústria e para a sociedade, são os principais insumos na economia e ainda essenciais para as atividades econômicas e para o crescimento do país. Contudo, os autores destacam que o que é básico, chave e essencial, varia de país para país e de um momento para outro, sendo que, até mesmo a produção de aço já foi considerada como infraestrutura essencial. Normalmente, as atividades consideradas como investimento em infraestrutura incluem: i) energia (geração de energia e abastecimento); ii) transporte (rodovias, sistemas

metroferroviários, pontes e túneis); iii) água (saneamento básico, tratamento de águas residuais e abastecimento de água); iv) telecomunicações (telefones); e v) Infraestrutura social (hospitais, prisões, tribunais, museus, escolas e alojamento governo).

Algumas particularidades dos projetos de infraestrutura em relação aos projetos de investimento tradicional são: i) os grandes volumes de capital envolvidos; ii) os longos prazos de maturação; iii) cobrirem serviços considerados essenciais para a sociedade; e iv) a baixa liquidez. (Grimsey & Lewis, 2002; Brandão & Saraiva, 2007). Os projetos de infraestrutura, muitas vezes são classificados como megaprojetos, conforme a tipologia definida por Merrow (2011 como citado em Motta, 2013, p. 20) “Os megaprojetos, tecnicamente chamados de projetos de capital, são projetos de grande magnitude, geralmente complexos, e normalmente definidos como empreendimentos com orçamento superior a US\$ 1 Bilhão”.

Segundo Brandão e Saraiva (2007, p. 1037–1038):

[...] essas características fazem com que esses projetos sejam fortemente afetados por considerações políticas e regulatórias, que aumentam significativamente o risco deste investimento para o investidor privado. Em função disso, o investidor privado fará o necessário ajuste ao risco [...].

No Brasil, os serviços de infraestrutura são providos pelo ente público ou delegados a terceiros; a delegação pode acontecer entre dois distintos regimes de contratação, sendo eles: i) contratos de escopo específico; e ii) contratos de concessão. Os contratos de escopo específico são regidos pela Lei 8.666/93 (Lei de Licitações e Contratos). Já as concessões podem ocorrer suportadas pela Lei 8.987/95 (Lei das Concessões Comuns) ou pela Lei 11.079/04 (Lei das Parcerias Público-Privadas). (Marar, Aragão, & Santos, 2004).

Segundo Grilo (2008, p. 45) as PPP são definidas como um contrato administrativo de concessão, na modalidade patrocinada ou administrativa. E ainda comparando as concessões no Brasil e na Europa, afirma que:

[...] a diferença entre os riscos transferidos para o setor privado nas concessões comuns e nas parcerias público-privadas não é nítida no Brasil. O risco de demanda pode, por exemplo, ser total ou parcialmente transferido para o setor privado nas concessões patrocinadas, o que dificilmente se aplicaria às concessões administrativas e, na prática, pode não ocorrer em uma concessão comum. A principal diferença entre as concessões comuns e as PPPs, no caso brasileiro, diz respeito à possibilidade de contraprestação, total ou parcial, por parte do governo, quando o investimento privado não puder ser recuperado por meio da cobrança de tarifas.

Para Brandão e Saraiva (2007, p. 1036) as PPP são:

Arranjos contratuais onde o governo assume compromissos futuros por meio de garantias e opções. São alternativas para aumentar a

eficiência do Estado por uma alocação mais eficiente de incentivos e riscos. No entanto, a determinação do nível ótimo de garantias e a própria alocação de riscos são geralmente realizadas de forma subjetiva, podendo levar o governo a ter que assumir passivos significativos.

Conforme afirma Krüger (2012, p. 1741): “A principal incerteza nos investimentos em empreendimentos de infraestrutura é se a demanda futura de tráfego será suficiente para cobrir os custos dos investimentos”. Neste sentido, Brandão et al. (2012) afirma que na modalidade de contratos de PPP “o risco do projeto pode ser mitigado por meio de alguma forma de apoio governamental. Como, entre outros, o pagamento de contraprestações, garantias de demanda, de taxa de câmbio e de retorno de investimento”.

Contudo, Pastori (2007a, p. 43) afirma que:

Não existe um modelo único de PPP. Cada país tem modelado a contratação das parcerias de acordo com o seu ambiente econômico-institucional *[sic]*. Nos países da OCDE as experiências são avaliadas, no geral, como bem sucedidas *[sic]*, o que pode ser explicado pela maior estabilidade institucional que prevalece nesses países. Por outro lado, há uma coleção de exemplos de experiências não tão bem sucedidas *[sic]* que constituem um elenco interessante com exemplos de erros que podem ocorrer durante a modelagem.

Millones (2010) apresenta uma visão geral das fases do ciclo de vida de um empreendimento na modalidade PPP, dividido em quatro etapas: i) a fase de planejamento e exploração que cuida da estrutura da parceria, da definição do escopo do empreendimento e da partilha de riscos entre os parceiros; ii) a fase de projeto, em que o plano do projeto é modelado e os requisitos funcionais e de informações são unificados em especificações do projeto; iii) a fase de construção que contempla a construção das instalações; e iv) a fase de operação e manutenção do sistema de transporte. A Figura 21 apresenta graficamente essas fases.

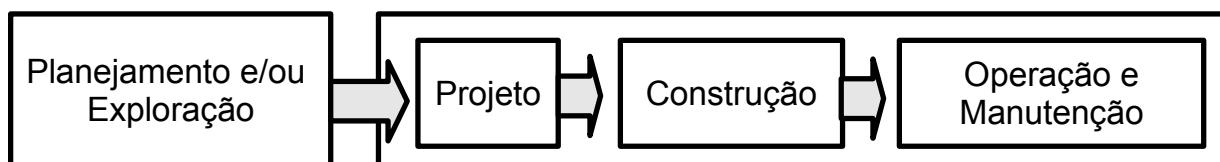


Figura 21: Processo de formação das PPP.

Fonte: Adaptado pelo autor de Millones (2010).

### 2.2.1 Transporte de Passageiros sobre Trilhos

Considerando a definição de complexidade proposta por Baccarini (1996), os projetos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos podem ser classificados como projetos complexos; isto, devido: i) ao grande número de variáveis a serem controladas; ii) o porte do projeto; iii) o nível tecnológico agregado; iv) os longos prazos; e v) o número de especialistas envolvidos. De uma forma mais geral, Leurent (2011) considera todos os sistemas de transporte público de passageiros como sistemas complexos, justificando devido às interações dos tráfegos dos passageiros e dos veículos de transporte. Brinco (2012) cita o prazo para a construção de um projeto metroferroviário de 5 e 8 anos, a um custo médio por quilômetro na ordem de US\$ 130 milhões; isto, para o metrô paulistano.

De forma a facilitar o entendimento da complexidade dos seus projetos, o Metrô mapeou, em seu Guia de Gestão de Empreendimentos de Expansão, as fases do ciclo de vida dos seus novos empreendimentos, sendo elas: i) concepção; ii) desenvolvimento; iii) implantação; e iv) transferência e encerramento. (Metrô, 2013a). A fase de Concepção do Empreendimento consiste principalmente na elaboração do projeto conceitual da linha, na preparação da estimativa de custos, no planejamento geral do empreendimento, e na busca por recursos financeiros. Na próxima fase do ciclo de vida, o Desenvolvimento, são elaborados os projetos básicos de obras civis e de sistemas; também são desenvolvidos as especificações do material rodante, orçamentação, processos desapropriatórios e de licenciamento ambiental; esta fase termina quando todos os requisitos para o início da execução das obras estiverem prontos, incluindo a obtenção das licenças ambientais de instalação. Na sequência, vem a fase de Implantação, que consiste na construção da linha, com a elaboração dos projetos executivos, a implantação das obras civis e a fabricação e montagem dos sistemas e do material rodante. A última fase, a Transferência e Encerramento, consiste em transferir a linha para a operação e em encerrar o empreendimento. (Metrô, 2013a). A Figura 22 apresenta as macroatividades desenvolvidas em cada uma das fases com seus respectivos tempos típicos. Foram considerados nos levantamentos dos tempos os prazos legais para as licitações e o histórico das obras já realizadas.

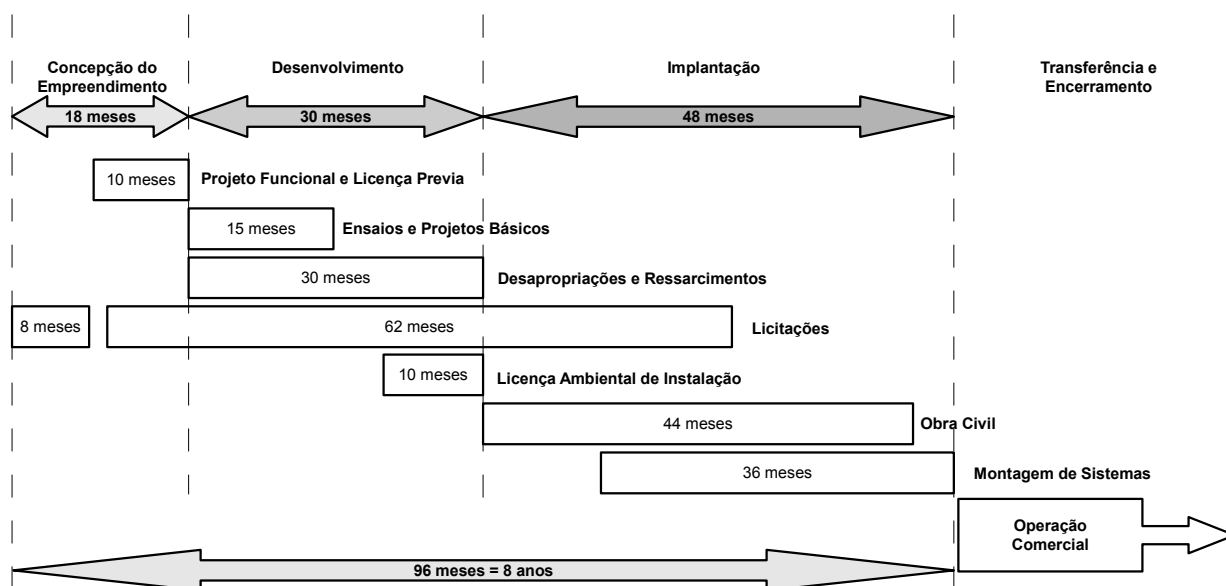


Figura 22: Tempos típicos dos empreendimentos de expansão do Metrô.

Fonte: Adaptado pelo autor de Metrô (2013).

Segundo Santos e Ferreira (2012) em um empreendimento metroferroviário são desenvolvidos os seguintes projetos de engenharia: i) projeto funcional, trata a interface da nova linha com o território da cidade, onde são considerados: a diretriz de traçado; a localização das estações; e o atendimento urbano; ii) projeto preliminar, cuida da concepção das espacialidades e métodos construtivos que serão empregados nas vias; estações, poços de ventilação e nos pátios de manutenção. É a consolidação das diretrizes contidas no projeto funcional; iii) projeto básico, realiza o desenvolvimento das condicionantes viabilizadas no projeto preliminar e compatibilização de disciplinas da engenharia e arquitetura e suas respectivas Interfaces. São realizados os seguintes projetos básicos: projeto arquitetônico; civil; acabamento; urbanização e paisagismo; luminotécnico; e sistemas; e iv) projeto executivo, consiste no detalhamento das soluções de engenharia e arquitetura e suas respectivas interfaces para fomento à execução civil do empreendimento. E ainda, que para conseguir a licença prévia do empreendimento é necessário que os projetos funcionais e preliminar estejam concluídos, e ainda o estudo de impacto ambiental com seu respectivo relatório (EIA RIMA), além das audiências públicas necessárias.

Leurent (2011) analisa os sistemas de transporte público de passageiros como um sistema composto de subsistemas inter-relacionados, sendo eles os subsistemas de: i) passageiro; ii) veículos; iii) estação; iv) linha; e v) Gestão Global. A Figura 23 apresenta os

componentes e suas inter-relações em um sistema de transporte público de passageiros.

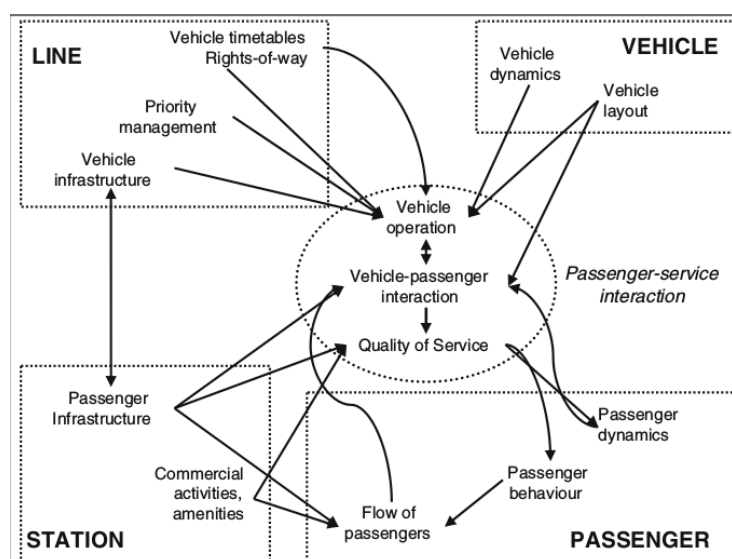


Figura 23: Componentes e inter-relações em um sistema de transporte público.

Fonte: Leurent (2011).

Pensando agora mais especificamente nos sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos, eles são formado pelos seguintes subsistemas: i) via permanente (trilhos, aparelhos de mudança de via, etc); ii) material rodante (trens); iii) sinalização (controle seguro de movimentação dos trens); iv) estações de embarque e desembarque de passageiros; v) alimentação elétrica (para as estações, pátios e trens); e vi) pátio (estacionamento e manutenção dos trens).

A Figura 24 apresenta os subsistemas de controle envolvidos em um sistema típico de transporte de passageiros sobre trilhos e suas inter-relações.

Um sistema de transporte eficiente precisa prever sua demanda requerida de forma a alinhá-la ao que a sua infraestrutura suporta, deve suprir os passageiros de informação sobre o sistema, assim como reduzir o consumo de energia e as emissões, zelando pela manutenção de elevados padrões de segurança. ANTP e WB (2012). Segundo a (ANTP & World Bank, 2012), um dos caminhos para alcançar esses objetivos são os Sistemas de Transportes Inteligentes (*Intelligent Transport Systems – ITS*), assim definidos:

[...] consistem na aplicação de um conjunto de tecnologias em constante evolução a problemas comuns do transporte coletivo, como a falta de informação e de planejamento, os congestionamentos, as contingências, etc. [...] compreendem os centros de controle multimodal e operações, os sistemas avançados de sinalização do trânsito, os sistemas de monitoramento e fiscalização remotos (câmeras, sensores, sondas,

software), o gerenciamento de estacionamento, o gerenciamento de incidentes de tráfego, respostas de emergência, pagamento eletrônico, precificação dinâmica e informações do usuário em tempo real.

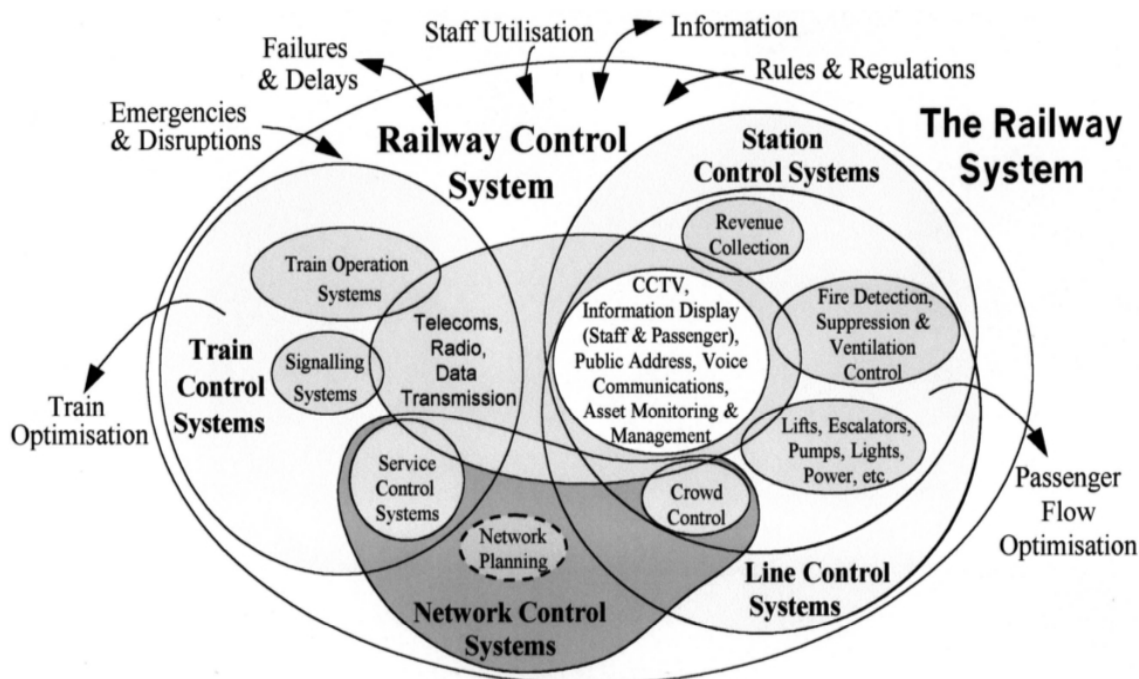


Figura 24: Sistemas de Controle Ferroviário.

Fonte: Woodland (2004).

A norma técnica ABNT NBR ISO 14813-1:2011, fornece uma definição dos serviços e áreas de aplicação que podem ser providos aos usuários dos sistemas ITS. A ANTP e WB (2012) afirmam que no setor de transporte metroferroviário, os sistemas ITS, em algum grau, sempre estão presentes, atuando essencialmente em dois ambientes: i) no Operacional; e ii) no de Gestão. No ambiente operacional, destacam-se: i) os sistemas de sinalização e controle: ATP (*Automatic Train Protection*), ATO (*Automatic Train Operation*), e ATS (*Automatic Train Supervision*); ii) o nível de automação na condução dos trens: STO (*Semi-Automated Operation*), DTO (*Driverless Train Operation*) e UTO (*Unattended Train Operation*); iii) a forma de aquisição do posicionamento dos trens: Circuitos de vias (blocos fixos), CBTC (*Communication Based Train Control*); iv) o Centro de Controle Operacional (CCO); v) o Centro de Controle de Segurança Pública (CCS); vi) o sistema de telecomunicações; vii) o sistema de supervisão e controle SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*); viii) o sistema de portas automáticas de plataformas; ix) o sistema de bilhetagem automática; x) o sistema de apoio à operação; e xi) o sistema de apoio à manutenção. Já no ambiente de gestão,



destacam-se: i) os sistemas de pesquisa de demanda, necessários para estabelecer o planejamento da oferta de transporte; ii) os programas de simulação de marcha dos trens e simulação da rede elétrica de tração; iii) a estação inteligente com seus automatismos de controle e supervisão; e iv) a gestão automática da manutenção, integrada ao processo produtivo e gestão dos ativos.

Relacionando os sistemas ITS com o assunto deste trabalho, tem-se que os ITS mais importantes são os envolvidos com a movimentação dos trens, visto que, eles influenciarão diretamente a demanda máxima que o sistema suportará; são eles os sistemas de sinalização e controle. Segundo ANTP e WB (2012, p. 62) esses sistemas:

[...] determinam o desempenho operacional e proporcionam segurança à movimentação dos trens nas vias principais e nos pátios, evitando principalmente a colisão entre veículos. O sistema que garante a movimentação segura e automática do trem na via e no pátio é o ATC (*Automatic Train Control*) e tem como funções a manutenção da velocidade máxima permitida e a proteção de sobre-velocidade [*sic*] do trem.

Conforme Zhao (2013) o sistema de controle de trens é o elemento central dos sistemas ferroviários, uma vez que é esse o sistema responsável por garantir a operação segura e eficiente dos trens, mantendo uma distância segura entre eles, e controlando suas movimentações de forma a regular a oferta do sistema. Para ANTP e WB (2012), a sinalização e o controle de um sistema metroferroviário moderno são constituídos dos seguintes subsistemas básicos:

(a) Sistema de Proteção Automática de Trens (ATP). É o sistema responsável pela movimentação segura dos trens na via e nos pátios, evitando colisões e descarrilamentos de trens, prevenindo o excesso de velocidade além dos limites permitidos pelo traçado da via e possibilita a movimentação e proteção segura dos aparelhos de mudança de vias;

(b) Sistema de Operação Automática de Trens (ATO). É o sistema responsável pela operação automática dos trens na via e pelo seu desempenho, controlando as taxas de frenagem e aceleração, de forma a proporcionar uma marcha confortável do trem em operação comercial. Também é responsável pelas paradas automáticas dos trens nas estações e a abertura e fechamento de portas nas plataformas;

(c) Sistema de Supervisão Automática de Trens (ATS). É o sistema que regula a oferta de transporte de acordo com a demanda requerida, controlando de forma harmônica e organizada a circulação da frota de trens em operação. Possui interface com outros subsistemas, tais como os de: energia; sistemas auxiliares; arrecadação; entre outros; de forma

a supervisioná-los e oferecer um serviço otimizado.

O Sistema Automático de Controle de Trens (ATC) é constituído pelos sistemas ATP e ATO. (Zhao, 2013). A Figura 25 ilustra os subsistemas de um sistema de controle ferroviário e suas interfaces.

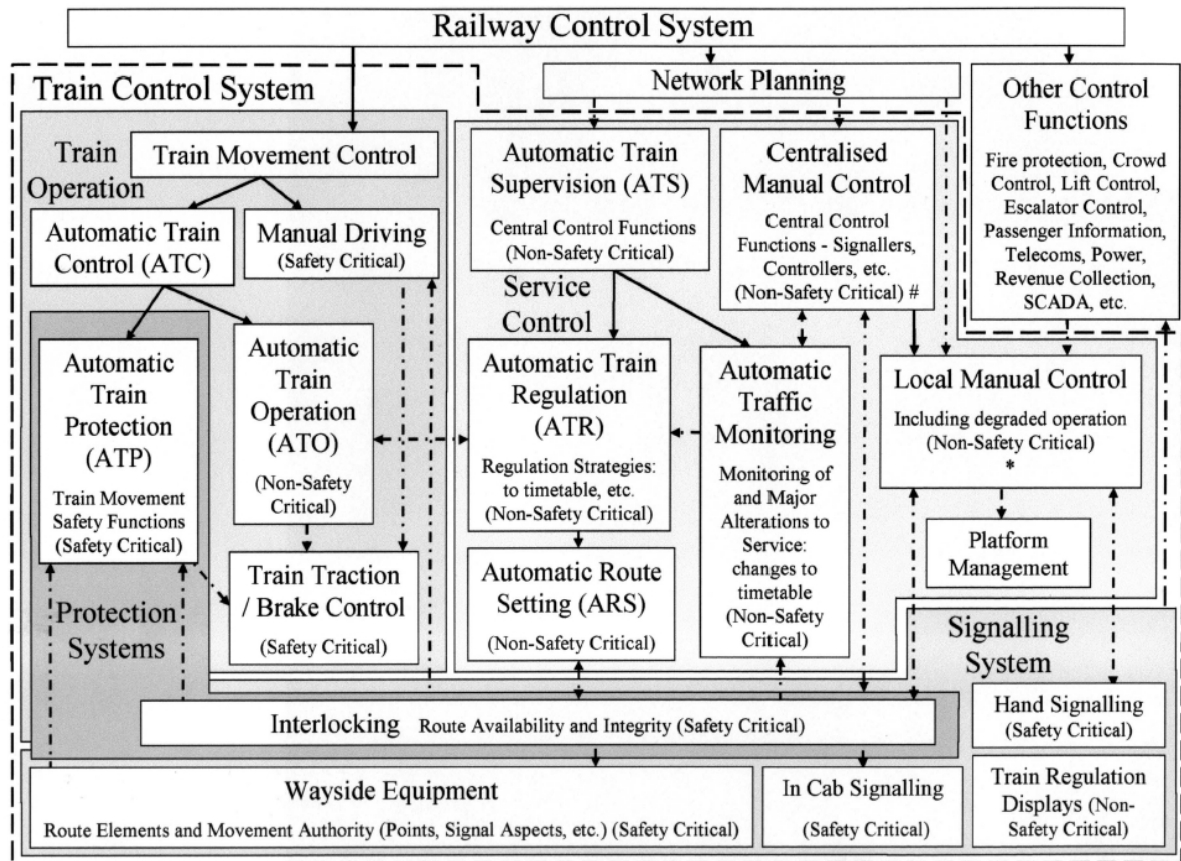


Figura 25: Subsistemas de um sistema de controle ferroviário.

Fonte: Woodland (2004).

Pensando na análise econômico-financeira de projetos de transporte de passageiros sobre trilhos, um ponto a ser considerado são os custos operacionais do sistema, aqui, o nível de automação na condução dos trens deve ser considerado, visto que, impactará diretamente o custo de pessoal. Segundo a (ANTP & World Bank, 2012), nos sistemas metroferroviários o nível de automação depende das tecnologias de ITS utilizadas. Esses níveis foram definidos pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), classificando o ATO em quatro diferentes níveis de automação (*Grade of Automation – GOA*) (Zhao, 2013), sendo eles:

(a) GOA 1 – Operação Manual. Nesse nível operacional, o trem é conduzido pelo operador que controla a marcha manualmente, obedecendo à sinalização em cabine ou à

sinalização lateral à via. A proteção para impedir velocidades superiores a permitida, evitando choques entre trens, é garantida pelo sistema de sinalização. Os sinais à margem de via e os códigos de velocidade são atualizados em função das condições de segurança da via (ATP) e o trem é conduzido de acordo com os sinais à margem de via. Os limites de velocidade são visualizados na cabine de condução. O trem é freado automaticamente até a parada caso o código de velocidade seja ultrapassado. O controle da abertura e do fechamento das portas, bem como da partida do trem nas estações são responsabilidades do condutor;

(b) GOA 2 – Operação Semiautomática (STO). Nesta modalidade, o sistema ATO supervisiona a velocidade e atua automaticamente na aceleração e frenagem do trem; o fechamento e abertura das portas pode ser automático, mas a partida do trem é responsabilidade do operado;

(c) GOA 3 – Operação sem condutor (DTO). Neste modo o trem não tem mais a figura do condutor, contudo, há um novo papel, a do operador a bordo do trem. Ele não necessita, necessariamente, ficar na cabine – que pode nem existir – mas fica embarcado neste, de prontidão, em casos de situações perigosas, podendo parar o trem e atuar, por exemplo, na abertura ou fechamento de portas;

(d) GOA 4 – Condução Autônoma (UTO). Neste modo, toda a condução, incluindo a operação das portas, a partida da estação e algumas situações de emergência são controladas automaticamente pelo sistema.

## **2.2.2 Riscos em empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos**

Conhecer e dimensionar os riscos de um empreendimento, de forma a desenvolver instrumentos eficazes de mitigação, estão entre os principais processos da sua implementação. (Bonomi & Malvessi, 2008). Nóbrega (2010, pp. 4–5) cita que as fontes de riscos são os fatores que podem influenciar a rentabilidade de um projeto de infraestrutura; nesse sentido, o autor afirma que:

A grande questão em projetos complexos é determinar como esses riscos serão abordados. Tal questão assume relevo sobretudo em projetos organizados sob a forma de *Project Finance* e mais especificamente em projetos de Parceria Público Privadas. Não por menos, o artigo 5 da lei 11.794/04 determina que os contratos das PPPs devem explicitamente dispor sobre a planilha de riscos.

Também nos empreendimentos de concessão rodoviária a demanda vem sendo uma grande fonte de riscos, conforme afirmam Brandão e Saraiva (2007, p. 1045):

Os riscos associados a projetos de concessão rodoviária têm sido identificados, mas a sua modelagem é pouco discutida. Trabalhos realizados por Standard and Poor's (2002<sup>4</sup>, 2003<sup>5</sup>) concluíram que os modelos de projeção de tráfego geralmente oferecem resultados otimistas que não se verificam na prática, e que esses projetos tendem a ter uma performance abaixo das expectativas nos anos iniciais.

### 2.2.3 Demanda de passageiros

Ao contrário do que pode ocorrer com a produção na indústria, o setor de serviços não suporta estocar serviços não prestados durante os períodos de baixa demanda para atender a períodos de alta demanda; nesse sentido Viglioni (2008, p. 1), afirma que:

Percebe-se, portanto, que um aspecto relevante nesse setor de serviços é o dimensionamento da capacidade de seu sistema operativo, tanto para o volume de capacidade a ser adicionado quanto o momento de expandir. Capacidade ociosa pode implicar em elevados custos unitários para o serviço prestado, enquanto falta de capacidade, em deterioração dos níveis de serviço prestados ao cliente.

Nesta linha, para o setor de transporte de passageiros, um típico exemplo de prestação de serviços, Campos (2013, p. 33) afirma que:

O processo de planejamento de transportes envolve a definição dos objetivos, do prazo para a implantação e da duração do plano. Deve se basear numa visão sistêmica que englobe o desenvolvimento e as características da região de estudo, contemplando a forma de ocupação, a situação econômica atual e futura, e a sua inter-relação com outras regiões.

De uma forma geral, o plano envolve as seguintes etapas: i) definição dos objetivos do plano; ii) diagnóstico dos sistemas de transportes; iii) escolha e coleta dos dados; iv) escolha dos modelos de demanda a serem utilizados para a avaliação da demanda futura; v) avaliação da demanda; vi) definição das alternativas de oferta de transporte; vii) avaliação das alternativas (custos e impactos); viii) escolha da alternativa; ix) desenvolvimento do plano de transporte acompanhado de um programa de financiamento; x) implementação das alternativas de acordo com um cronograma de desembolso de recursos; e xi) atualização dos procedimentos. (Campos, 2013).

4 *Traffic risk in start-up toll facility. Standard and Poor's Infrastructure Finance*, 2002.

5 *Traffic forecasting risk: study update 2003. Standard and Poor's Infrastructure Finance*, Nov. 2003.

A Figura 26 apresenta uma estrutura racional para a tomada de decisão de planejamento de transportes. Campos (2013) afirma que esse processo deve ser dinâmico, isto é, a partir da etapa de testes do modelo e da solução o processo deve retornar as etapas anteriores, de forma a verificar quais os impactos da implementação das soluções propostas na demanda.

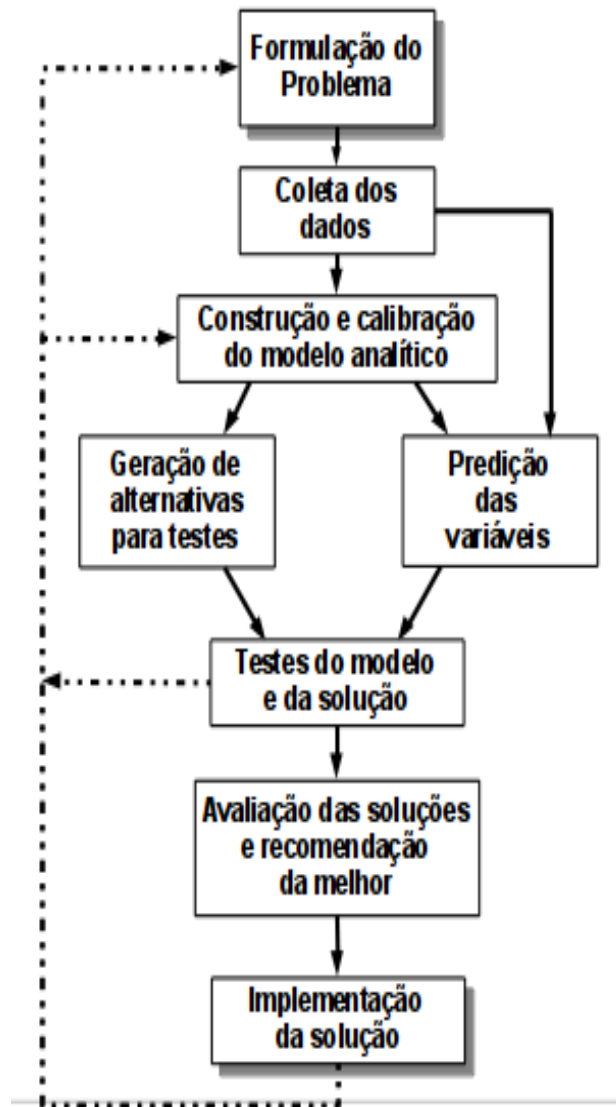


Figura 26: Estrutura racional para a tomada de decisão de planejamento de transportes.

Fonte: Adaptado pelo autor de Ortúzar e Willumsen (2011).

### 2.2.3.1 Coleta dos dados

Os objetivos da coleta de dados são definir os padrões de viagens e de uso do solo, na região de estudo, de forma permitir um diagnóstico sobre o sistema de transporte existente. Raia (2000) afirma que processo de planejamento de transportes exige, em geral, uma grande quantidade de informações, tanto dos próprios sistemas de transportes, como das variáveis associadas às questões socioeconômicas da região. Sendo que, essas informações podem ser obtidas de forma secundária, por meio da consulta de pesquisas que já foram realizadas e possuem seus dados publicados – normalmente por órgãos públicos e oficiais – ou quando não existirem, será necessário a coleta de informações nos próprios locais em estudo. O primeiro passo para a coleta (levantamento) de dados é decidir quais serão as informações a serem pesquisadas. Essa decisão é função do problema que se deseja analisar ou ainda do plano que será desenvolvido. Existem vários tipos e tamanhos de pesquisas, mas independentemente disso, o instrumento básico é um formulário ou questionário. Normalmente, são pesquisados: i) as condições da via e/ou dos sistemas de transporte; ii) pesquisas de fluxo de tráfego; e iii) pesquisas de origem/destino. (Campos, 2013).

### 2.2.3.2 Delimitação da área de estudo e zoneamento

A área de estudo é delimitada pelo cordão externo (*cordon line*) – que é o perímetro da área de estudo. Ela deve possuir as seguintes características: i) deve englobar todos os movimentos importantes da região; ii) deve incluir áreas que serão desenvolvidas no futuro, dentro do horizonte de planejamento; e iii) o cordão externo deve cruzar as principais vias e corredores. O zoneamento é a subdivisão da área de estudo e algumas vezes da região em torno desta, em subáreas chamadas de zona de tráfego. Os critérios de divisão das zonas de tráfego podem ser alguma divisão censitária ou administrativa já existente, isto, de forma a facilitar a obtenção de informações socioeconômicas destas subáreas. Assim, as zonas de tráfegos são as unidades básicas de análise e a finalidade do estudo é estabelecer as quantidades de fluxo e suas origens/destinos, de forma a melhor avaliar o desenvolvimento econômico e de uso do solo desta região. Para cada zona de tráfego, um ponto deve ser

definido como ponto de origem e de destino das viagens relacionadas a essa zona, este ponto é chamado de centroide da zona; e normalmente representa um local de grande concentração de atividades e viagens. (Campos, 2013).

### 2.2.3.3 Métodos de levantamento de dados

Segundo Campos (2013), os métodos de coletas de dados variam em função: i) do objetivo do plano; ii) do horizonte de planejamento; e iii) do tipo de região. Nas áreas urbanas podem ser realizados os seguintes tipos de levantamentos:

(a) Pesquisa do fluxo de tráfego: É a contagem do tráfego (manual ou automático), realizado em locais críticos onde existe grande fluxo de veículos ou pedestres. A finalidade é determinar a quantidade, a direção e a composição do fluxo que passa por um local em uma unidade de tempo, normalmente uma hora.

(b) Pesquisa Origem/Destino (O/D): São as pesquisas para coleta de informações que subsidiarão o planejamento de transportes, elas são realizadas no próprio local objeto de estudo, são chamadas pelo termo genérico de pesquisa origem e destino ou pelo nome mais comum pesquisa O/D. Elas podem ser realizadas de diversas maneiras, mas sempre com o intuito de coletar dados que possibilitem o planejamento dos transportes. (Melo, 1975 como citado em Raia, 2000, p. 115). Segundo Campos (2013, p. 39):

Uma das etapas de grande importância nas análises e estudos de planejamento e operação do sistema viário é a determinação da quantidade de deslocamentos realizados entre pontos de uma cidade ou região, em decorrência da necessidade de se realizar atividades fora da residência.

Com relação à forma de expressar esses deslocamentos, Demarchi e Bertocini (2004, p. 832) afirmam:

Tradicionalmente, o número de viagens entre diferentes locais é expresso em matrizes bidimensionais, denominadas matrizes origem-destino (O-D), na qual cada elemento da matriz representa o número de viagens entre uma origem e um destino específicos.

Segundo Richardson et al. (1995 como citado em Raia, 2000, p. 115–116) as formas de coleta dos dados para a pesquisa O/D podem ser: i) pesquisa documental; ii) pesquisa por meio de observações; iii) pesquisa domiciliar de autopreenchimento; iv) pesquisa telefônica; v) pesquisa de interceptação; e vi) pesquisa de entrevista pessoal domiciliar.

Para possibilitar uma análise mais aprofundada, a pesquisa deve incluir: i) dados sobre as pessoas (renda, idade, sexo, profissão, etc); e ii) sobre a viagem (horário, frequência, motivo, modo de transporte utilizado, etc). Se o estudo for sobre transporte de cargas, suas características também deverão ser pesquisadas. Em áreas urbanas, as entrevistas para a realização de pesquisas O/D podem ser realizadas: i) nos domicílios; ii) nos locais de trabalho; e iii) no sistema de transporte. Campos (2013, p. 40). Segundo Campos (2013, p. 40):

Na pesquisa domiciliar, o pesquisador utiliza um questionário que procura identificar o deslocamento realizado pela pessoa entrevistada no dia anterior à pesquisa, assim, é ideal que ela aconteça de quarta a sexta-feira e fora do período de férias. Através deste questionário, também são obtidas informações que possibilitem identificar as características socioeconômicas dos entrevistados (renda, idade, escolaridade, posse de veículos, etc.

#### 2.2.3.4 Estimativas da amostra

Bruton (1979 como citado em Campos, 2013, p. 41) recomenda a utilização dos dados do Quadro 11 para a estimativa da quantidade de amostras aleatórias em pesquisas domiciliares.

População da área [habitantes]	Tamanho da amostra [habitantes]	
	Recomendado	Mínimo
< 50.000	1 em cada 5 habitantes	1 em cada 10 habitantes
50.000 a 150.000	1 em cada 8 habitantes	1 em cada 20 habitantes
150.000 a 300.000	1 em cada 10 habitantes	1 em cada 35 habitantes
300.000 a 500.000	1 em cada 15 habitantes	1 em cada 50 habitantes
500.000 a 1000.000	1 em cada 20 habitantes	1 em cada 70 habitantes
> 1000.000	1 em cada 25 habitantes	1 em cada 100 habitantes

Quadro 11: Estimativa do tamanho da amostra.

Fonte: Adaptado pelo autor de Campos (2013).

Ortúzar e Willumsen (2011) citam que, de uma forma geral, os métodos de estimação requerem o conhecimento sobre as variáveis que devem ser estimadas, os seus coeficientes de variação e a precisão da medida desejada em conjunto com o nível de significância associada a ela. Smith (1979 como citado em Ortúzar & Willumsen, 2011, p. 80) afirma que uma vez que esses três elementos sejam conhecidos, o tamanho da amostra pode ser calculada conforme a Fórmula 1.



$$n = \frac{CV^2 Z_{\alpha}^2}{E^2} \quad (1)$$

Nos quais:

n = número de pessoas a entrevistar;

CV = coeficiente de variação;

$Z_{\alpha}$  = valor do erro padrão da curva normal para o nível de significância  $\alpha$ ; e

E = nível de precisão desejado.

#### 2.2.3.5 Tipos de informações

Segundo Campos (2013) a quantidade e o tipo de informação a serem obtidos dependerão do tipo de plano que será realizado, sendo que, para as pesquisas em áreas urbanas, normalmente, são utilizados para os usuários: i) dados socioeconômicos: tipo de residência; renda; número de residentes; tipo de atividade; número de pessoas empregadas; propriedade de veículos; ii) motivo da viagem: para o trabalho; negócios; recreativa; compras; escola; outros; iii) modo de realização da viagem: por transporte público (ônibus, táxi, metrô, barca); por transporte individual motorizado (automóveis, motos); por transporte individual não motorizado (bicicleta e a pé); iv) quanto ao ponto de referência: viagens com base residencial; viagens com base não residencial. Já para a região, são utilizados dados: i) do uso do solo: atividades predominantes; localização; intensidade; ii) populacionais; iii) da frota: automóveis; caminhões; ônibus; transporte de massa; iv) capacidades do sistema e condições físicas das vias; iv) da movimentação de cargas; vi) da frequência do modo e tarifa; vii) das atividades econômicas; e viii) das políticas futuras de transporte e de desenvolvimento urbano.

#### 2.2.3.6 Formas de pesquisas

Para identificar a movimentação futura de uma população, pode ser realizado duas formas de pesquisas: i) preferência revelada; e ii) preferência declarada. Na pesquisa de

preferência revelada os dados são obtidos por meio de observações reais da população estudada; enquanto na pesquisa de preferência declarada, os dados são obtidos por meio de cenários hipotéticos – o que os usuários escolheriam em determinada situação? Essa última permite a montagem de cenários, onde pode ser avaliado sistemas de transporte ainda nas suas fases de planejamento. (Campos, 2013).

#### **2.2.4 O modelo UTMS**

Conforme apresentado na Figura 26, após o processo de coleta de dados inicia-se o processo de construção e calibração do modelo analítico. O modelo *Urban Transportation Model System* (UTMS), também conhecido como: modelo Clássico de Transportes; modelo Quatro Etapas; e ainda modelo Sequencial, é um conjunto de modelos que normalmente são utilizados para previsão da demanda na área de planejamento de transportes. (Laiza et al. 2008; Eric, 1995). Este se baseia nas relações, de médio e longo prazo, do transporte com as características socioeconômicas da região. A primeira etapa do modelo é a da geração de viagens, onde se estima a quantidade de viagens geradas (produzidas e atraídas) em cada zona de tráfego. A partir do total de viagens geradas em cada zona, verifica-se a distribuição destas entre as demais zonas de tráfego, chegando a uma matriz de origem e destino de viagens. Na sequência, para cada conjunto de viagens realizadas entre pares de zonas de tráfego estima-se a quantidade de viagens nos vários modos de transporte. Finalmente, na etapa de alocação, também considerada como uma análise de equilíbrio entre a oferta e demanda, faz-se a distribuição de viagens por modo de transporte. (Campos, 2013).

Com a saída do modelo UTMS – após a etapa de alocação das viagens – estudam-se as alternativas de modos de transportes (ônibus, metrô, trem, monotrilho, etc) a serem propostas de forma a atender à demanda futura da região em análise. A Figura 27 ilustra as etapas do modelo UTMS.

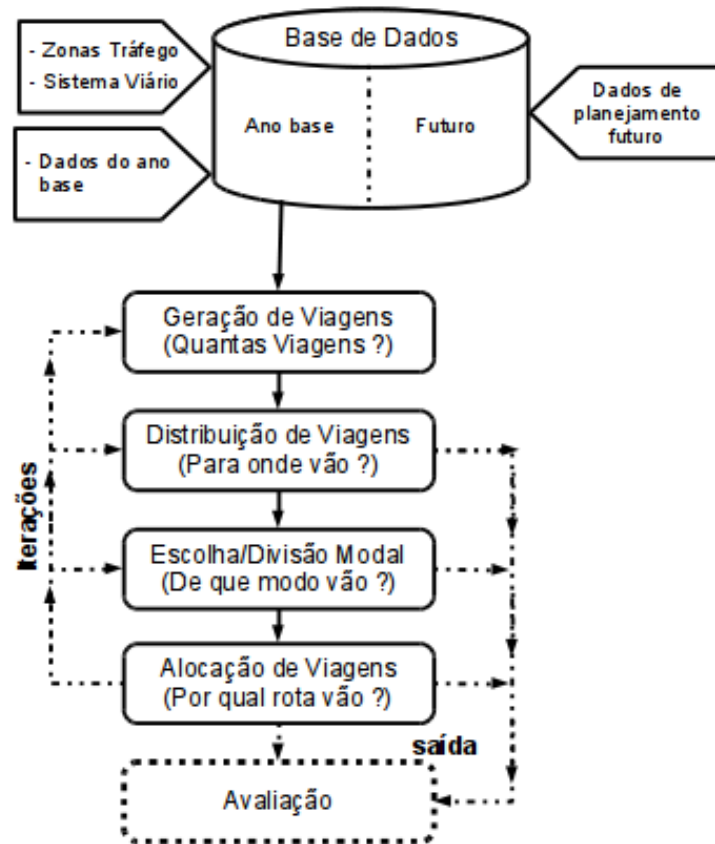


Figura 27: Modelo Clássico de Transporte Quatro Etapas.  
Fonte: Adaptado pelo autor de Ortúzar e Willumsen (2011).

#### 2.2.4.1 Geração de viagens

O objetivo desta etapa é fazer uma estimativa do número total de viagens, que iniciam ou terminam, em cada zona de tráfego da região em análise, para um dia típico do ano de projeto. O número total de viagens em cada uma das zonas de tráfego está relacionado com as atividades desenvolvidas (uso do solo) em cada zona e com as características socioeconômicas dos viajantes. Para realizar a estimativa das viagens, usa-se um modelo matemático que represente a demanda de transporte de acordo com a realidade estudada. (Campos, 2013, p. 50). Para Ortúzar e Willumsen (2011, p. 2), um modelo é uma representação simplificada de uma parte do mundo real, onde, a partir de um determinado ponto de vista, alguns elementos são considerados mais importantes. Especificamente para os

modelos matemáticos, os autores afirmam que:

Esses modelos tentam replicar o sistema de interesse e seu comportamento por meio de equações matemáticas baseadas em certas afirmações teóricas sobre o assunto. Embora eles ainda são representações simplificadas, estes modelos podem ser muito complexo e exigem muitas vezes grandes quantidades de dados para ser utilizado.

Segundo Campos (2013) o processo de geração de viagens compreendem as seguintes atividades: i) identificar os dados/variáveis determinantes no ano-base; ii) determinar o modelo a ser utilizado; iii) calibrar o modelo; iv) projetar os dados do modelo para o ano-base do projeto; v) aplicar o modelo calibrado; e vi) determinar as viagens futuras. Os métodos mais utilizados nesta etapa são: i) método do fator de crescimento; ii) método das taxas de viagens; iii) modelo de classificação cruzada ou análise de categorias e iv) método de regressão. Dos métodos apresentados Campos (2013), afirma que:

[...] o método do fator de crescimento determinar o nº de viagens futuras em função de dados agregados, tais como: população; renda; propriedade de veículo; etc. Contudo, seu maior problema é a escolha das variáveis que melhor explicam o fenômeno. Por isso, ele é considerado rudimentar e assim pouco utilizado;

[...] o método das taxas de viagens determina o nº de viagens em função do tipo de ocupação do solo, sendo que, para cada tipo de atividade, uma taxa de produção/atração de viagens é definida. A projeção de área ocupada por atividade para o ano do projeto é realizada por meio de métodos estatísticos, isto é, exógenos ao modelo;

[...] o modelo de classificação cruzada ou análise de categorias pode ser entendido como uma extensão do modelo anterior, utilizando agora dados desagregados por tipo de residência. As viagens são agrupadas conforme o conjunto de categorias de residências, relacionadas a estrutura familiar e as condições econômicas das famílias;

[...] o método da regressão determinar o nº de viagens por meio de uma equação (linear ou não) construída por meio do relacionamento da variável dependente (nº de viagens) com as variáveis independentes (fatores socioeconômicos e de uso do solo). Se o nº de variáveis independentemente for maior que um, tem-se uma regressão múltipla. Os coeficientes e constantes da equação são determinados por calibração utilizando os dados do ano-base de todas as zonas de tráfego. Usualmente, até quatro variáveis independentes são suficientes para explicar a variável dependente.

É possível a utilização de modelos distintos para a estimação das viagens produzidas (P) e atraídas (A), assim, no final, o somatório das duas categorias pode apresentar valores diferentes. Nesse caso, toma-se a produção de viagens como sendo o valor mais confiável, calcula-se o fator de ajuste, conforme a Fórmula 2, e multiplica-se os valores de atração por esse fator. (Campos, 2013).

$$f = \frac{\sum_i P_i}{\sum_i A_i} \quad (2)$$

Nos quais:

$f$  = fator de ajuste;

$P_i$  = viagens produzidas;

$A_i$  = viagens atraídas.

#### 2.2.4.2 Distribuição de Viagens

Esta etapa parte dos dados do ano-base da pesquisa O/D e da estimativa do total de viagens produzidas e atraídas por zona de tráfego, chegando à estimativa do número de viagens entre pares de zonas de tráfego, o que resulta na matriz O/D de viagens futuras. A distribuição de viagens é feita com base: i) na potencialidade de cada zona gerar viagens; ii) na atratividade das zonas de destino; iii) na distância, tempo ou custo de transporte entre cada par de zonas de origem e destino. Os modelos de distribuição de viagens são agrupados em duas categorias: i) métodos de fator de crescimento; e ii) modelo gravitacional. Segundo Campos (2013, p. 64):

Os métodos de fator de crescimento são aqueles em que a estimativa de viagens é feita utilizando-se um fator multiplicador que é aplicado à matriz do ano-base [...].

A aplicação destes métodos exige a obtenção preliminar de uma matriz de origem e destino das viagens no ano-base (viagens atuais).

Os métodos que se enquadram como métodos de fator de crescimento são: i) método do fator de crescimento uniforme; ii) método do fator médio de crescimento; iii) método de Fratar; e iv) método do fator de crescimento duplo (Furness). Já para o modelo gravitacional, Campos (2013, p. 76) afirma que sua base conceitual é a lei Gravitacional de Isaac Newton.

A força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto das massas dos dois corpos e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre eles.

A aplicação desse modelo na área de transporte carrega a hipótese que o número de viagens produzidas pela zona  $i$  e atraída pela zona  $j$  é proporcional: i) ao número total de viagens produzidas pela zona  $i$ ; ii) ao número total de viagens atraídas pela zona  $j$ ; e iii) a uma

função de impedância que relaciona a separação espacial ou custo de viagem entre as zonas de tráfego. Segundo Campos (2013, p. 77):

A vantagem deste modelo em relação aos outros é que neste se considera, além da atração, o efeito da separação espacial ou facilidade de iteração entre as regiões definida pela função de impedância.

#### 2.2.4.3 Escolha/Divisão modal

O objetivo desta etapa é estimar a demanda por modos de transporte (ônibus, metrô, trem, táxi, veículo particular etc) que poderão ser utilizados nos deslocamentos previstos na etapa de distribuição de viagens. A matriz O/D é subdividida em matrizes O/D por modo de transporte, onde os critérios de divisão são baseados nas variáveis que os usuários utilizam para fazer suas escolhas de modal, que usualmente são características: i) socioeconômicas (renda, propriedade de veículo etc); e ii) dos serviços dos modos de transporte (custo da viagem, conforto, acessibilidade etc). Uma restrição na escolha dos dados que compõem esse modelo é a utilização de dados que suportem projeções consistentes. Existem duas categorias de métodos de escolha/divisão modal, são eles: i) métodos determinísticos; e ii) métodos probabilísticos. Segundo Campos (2013, p. 93), os métodos determinísticos:

Buscam determinar a proporção de viagens por cada *[sic]* modo utilizando métodos quantitativos simples, tais como: Regressão Linear, Classificação Cruzada ou Curvas de Desvio.

Já os métodos probabilísticos relacionam a fração de viagem destinada a cada modo com a probabilidade de escolha de cada um deles. Os métodos probabilísticos mais comuns são: Logit Multimodal; e Logit Binomial. Para representar a atratividade das alternativas dos modos é utilizado o conceito de função utilidade; ela expressa matematicamente o grau de satisfação do usuário com o modal utilizado. Segundo Campos (2013, p. 97):

Num modelo determinístico seria razoável dizer que a escolha do modo se faz sobre aquele que possui a maior utilidade. Porém um modelo probabilístico considera que a utilidade varia segundo as características e a percepção de cada grupo de indivíduos, atribuindo assim um fator de aleatoriedade ao valor utilidade que deu origem ao modelo Logit Multinomial.

#### 2.2.4.4 Alocação de Fluxo

O objetivo dos modelos de alocação de fluxo é avaliar a distribuição do fluxo de viagens nos sistemas de transportes existentes e/ou em novas alternativas de transporte, isto é, buscam equilibrar a oferta dos modais de transporte – por meio da análise de suas capacidades, tais como: oferta de lugares; tempo de viagem; *headway*; e alcance da malha – com as demandas requeridas por eles. Segundo Campos (2013, p. 106):

O problema de alocação de fluxos em redes de transporte divide-se basicamente num problema de escolha de rotas e num problema de distribuição de fluxos de rotas. Estas rotas são escolhidas a partir de uma matriz de fluxos entre diversas O/D, considerando-se o ponto de vista do usuário que tenta minimizar seu tempo de viagem e tem como base a rede estrutural que foi utilizada para definir a matriz de tempo ou o custo de viagem no modelo gravitacional.

O fluxo de tráfego de um sistema de transportes (trens por unidade de tempo, normalmente 1 hora, que passam por uma via) está relacionado com a concentração de veículos, também conhecida por densidade (número de trens em uma via de comprimento unitário em um instante de tempo  $t$ ) e suas velocidades (relação entre a distância percorrida pelos trens em uma unidade de tempo). A capacidade é normalmente definida como o fluxo máximo suportado por uma via, em uma hora. Velocidade e densidade se relacionam conforme afirma Campos (2013, p. 107) da seguinte forma:

A premissa básica dos modelos de tráfego é que a velocidade é uma função decrescente em relação à densidade. Se a densidade aumenta, o espaço entre os veículos diminui e os motoristas reagem, diminuindo a velocidade.

Isto é, a medida que mais trens são acrescentados no sistema, isto é, aumentado a densidade de trens, a velocidade média destes diminuirão, de forma que a capacidade do sistema aumenta, bem como o tempo médio de viagem.

As técnicas de distribuição de fluxos remontam a década de 50, com o objetivo do planejamento de transporte nas grandes cidades, inclusive para a análise de viabilidade econômica desses projetos. A alocação de fluxos em uma rede de transporte envolve dois problemas: i) determinar o menor custo (tempo) da rede; e ii) minimizar o custo total da rede. Os métodos utilizados para essa fase do modelo UTMS são: i) método tudo ou nada; ii) técnicas de curva de desvio; iii) alocação de caminhos múltiplos; iv) métodos de alocação com restrição de velocidades; v) métodos de alocação incremental de tráfego; vi) modelos de equilíbrio; e vii) modelos dinâmicos de alocação. Campos (2013).

### 2.2.5 Quadro resumo do eixo teórico Projetos de Infraestrutura

O Quadro 12 apresenta um resumo dos principais autores e trechos citados do eixo teórico (polo) Projetos de Infraestrutura que ajudam a responder a questão de pesquisa.

Autor	Trecho
Campos (2013, p. 33)	O processo de planejamento de transportes envolve a definição dos objetivos, do prazo para a implantação e da duração do plano [...]
Metrô (2013a, p. 14).	As fases do ciclo de vida dos empreendimentos de expansão [...] Concepção do Empreendimento; Desenvolvimento; Implantação; e Transferência e Encerramento
Zhao (2013, p. 7)	O sistema de controle de trens é o elemento central dos sistemas ferroviários, uma vez que é esse o sistema responsável por garantir a operação segura e eficiente dos trens, mantendo uma distância segura entre eles, e controlando suas movimentações de forma a regular a oferta do sistema
ANTP e WB (2012)	Nos sistemas metroferroviários o nível de automação depende das tecnologias de ITS utilizadas
Brandão et al. (2012, p. 11)	Na modalidade de contratos de PPP o risco do projeto pode ser mitigado por meio de alguma forma de apoio governamental. Como, entre outros, o pagamento de contraprestações, garantias de demanda, de taxa de câmbio e de retorno de investimento
Krüger (2012, p. 1741)	A principal incerteza nos investimentos em empreendimentos de infraestrutura é se a demanda futura de tráfego será suficiente para cobrir os custos dos investimentos
Santos e Ferreira (2012)	Projetos desenvolvidos em empreendimento metroferroviário [...] Projeto Funcional; Projeto Preliminar; Projeto Básico; e Projeto Executivo
Leurent (2011)	Considera todos os sistemas de transporte público de passageiros como sistemas complexos [...]
Merrow (2011 como citado em Motta, 2013, p. 20)	Os projetos de infraestrutura, muitas vezes são classificados como megaprojetos [...] projetos de capital, são projetos de grande magnitude, geralmente complexos, e normalmente definidos como empreendimentos com orçamento superior a US\$ 1 Bilhão
Nóbrega (2010, pp. 4–5)	As fontes de riscos são os fatores que podem influenciar a rentabilidade de um projeto de infraestrutura [...] a grande questão é determinar como esses riscos serão abordados [...] assume relevo sobretudo em projetos organizados sob a forma de Project Finance e mais especificamente em projetos de PPPs. [...] os contratos das PPPs devem explicitamente dispor sobre a planilha de riscos



Autor	Trecho
Millones (2010, p. 18)	Apresenta uma visão geral das fases do ciclo de vida de um empreendimento na modalidade PPP, dividido em 4 etapas [...] a fase de planejamento e exploração que cuida da estrutura da parceria, da definição do escopo do empreendimento e da partilha de riscos entre os parceiros
Laiza et al. (2008) Eric (1995)	O modelo UTMS é um conjunto de modelos que normalmente são utilizados para previsão da demanda na área de planejamento de transportes
Brandão e Saraiva (2007)  Grimsey e Lewis (2002, p. 108)	Particularidades dos projetos de infraestrutura em relação aos projetos de investimento tradicional são: i) os grandes volumes de capital envolvidos; ii) os longos prazos de maturação; iii) cobrirem serviços considerados essenciais para a sociedade; e iv) a baixa liquidez
Brandão e Saraiva (2007, p. 1036)	As PPP são arranjos contratuais onde o governo assume compromissos futuros por meio de garantias e opções. São alternativas para aumentar a eficiência do Estado por uma alocação mais eficiente de incentivos e riscos. No entanto, a determinação do nível ótimo de garantias e a própria alocação de riscos são geralmente realizadas de forma subjetiva, podendo levar o governo a ter que assumir passivos significativos.
Brandão e Saraiva, (2007, p. 1037–1038)	[...] Essas características fazem com que esses projetos sejam fortemente afetados por considerações políticas e regulatórias, que aumentam significativamente o risco deste investimento para o investidor privado. Em função disso, o investidor privado fará o necessário ajuste ao risco
Brandão e Saraiva (2007, p. 1045)	Os modelos de projeção de tráfego geralmente oferecem resultados otimistas que não se verificam na prática, e que esses projetos tendem a ter uma performance abaixo das expectativas nos anos iniciais
Grimsey e Lewis (2002, p. 108)	Os investimentos em infraestrutura são pensados para fornecer os serviços básicos para a indústria e para a sociedade, são os principais insumos na economia e ainda essenciais para as atividades econômicas e para o crescimento do país
Raia (2000, p. 115)	O processo de planejamento de transportes exige, em geral, uma grande quantidade de informações [...]

Quadro 12: Quadro resumo do eixo teórico Projetos de Infraestrutura.

Fonte: Produzido pelo autor.

## 2.3 REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

A área de estudos das Redes Neurais Artificiais (RNA), também conhecida como connexionista ou ainda sistemas de processamento paralelo, teve seu ressurgimento no final da

década de 80; esta área é uma forma de computação não algorítmica, isto é, não é baseada em regras ou programas. (Braga, Carvalho, & Ludermir, 2000). Haykin (2001, p. 28) define uma RNA como:

Uma rede neural artificial é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

- 1) O conhecimento é adquirido pela rede de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.
- 2) Forças de conexão entre neurônios, conhecida como pesos sinápticos, são usadas para armazenar o conhecimento adquirido.

A atratividade da solução de problemas por meio de modelos neurais está na forma como estes são representados internamente pela rede e o paralelismo natural inerente à arquitetura das RNA que criam a possibilidade de um desempenho superior ao dos modelos convencionais. Braga et al. (2000). Comparado com modelos convencionais de análises de regressão Bocanegra (2002, p. 1) afirma que a solução de problemas por RNA pode apresentar um desempenho superior, e ainda acrescenta que o procedimento usual para a sua utilização na solução de problemas:

[...] passa inicialmente por uma fase de aprendizagem, em que um conjunto de exemplos é apresentado para a rede, que extrai automaticamente dos mesmos as características necessárias para representar a informação fornecida. Essas características são utilizadas posteriormente para gerar respostas a problemas com características similares às dos exemplos.

Brondino (1999, p. 10) também compara as RNA com o modelo estatístico da regressão múltipla, reconhecendo o valor do modelo estatístico, mas apontando algumas limitações deste, tais como: i) existência de descontinuidades; ii) desconhecimento de relações entre as variáveis envolvidas; e iii) obediência de suposições quanto à distribuição dos erros; e afirma que:

[...] está crescendo o uso de modelos de Inteligência Artificial, em particular, Redes Neurais, em substituição a modelos estatísticos. Dentre as áreas que estão utilizando ferramentas deste tipo, pode-se citar, por exemplo, psicologia, fonoaudiologia, pedagogia, medicina e engenharia, inclusive na área de transportes. Dada sua capacidade de reconhecimento e generalização, estes modelos reagem bem e fornecem estimativas adequadas na existência de ruídos ou quando falta algum tipo de dado, classificando aquele conjunto de entrada na classe em que ele melhor se enquadre. Como outra vantagem, a rede é capaz de aprender e, assim, fornecer saídas satisfatórias para novas entradas.

Corroborando com isto, Braga et al. (2000, p. 2) confirmam que a capacidade de aprender por meio de exemplos e de generalizar a informação aprendida é o principal atrativo

na solução de problemas auxiliados por RNA, e ainda acrescenta que elas:

[...] são capazes de extrair informações não-apresentadas de forma explícita através de exemplos. [...] são capazes de atuar como mapeadores universais de funções multivariáveis. [...] capacidade de auto-organização e de processamento temporal, que, aliada àquelas citadas anteriormente, faz das RNAs uma ferramenta computacional extremamente poderosa e atrativa para a solução de problemas complexos.

Contudo, Bocanegra (2002) observa três contratempos para os modelos construídos a partir de RNA, são eles: i) em geral, eles são obscuros para o usuário final – tipo caixa-preta; ii) o processo de aprendizagem da rede é de difícil entendimento; e iii) a dependência do *software* utilizado no processo de treinamento da rede para futuras utilizações em estimativas e simulações do modelo validado. Akamine (2005) acrescenta ainda a carência de técnicas para seleção da rede neural a ser utilizada na modelagem, isto é, a arquitetura que apresentará o melhor desempenho e poder de predição, sendo que, na maioria dos trabalhos, os parâmetros da rede são escolhidos aleatoriamente e, ainda que se consiga resultados satisfatórios variando-se tais parâmetros, nem sempre a rede utilizada representa a solução ótima. Para contornar este problema, Akamine (2005, p. 2) cita:

Fischer e Reismann (2002b) sugerem o uso de procedimentos de busca global como *Simulated Annealing* (SA), *Alopex* e Algoritmos Genéticos. Outra possibilidade para melhorar o desempenho dos modelos é o uso do método de estimação por bootstrap, na fase de divisão dos dados para treinamento das redes.

### 2.3.1 Principais arquiteturas de RNAs

O tipo de problema que uma RNA pode tratar depende da arquitetura escolhida para a rede, sendo a arquitetura definida pelos seguintes parâmetros: i) número de camadas da rede; ii) número de nodos em cada camada; tipo de conexão entre os nodos; e iv) topologia da rede. (Braga et al., 2000).

O conceito de aprendizagem em RNA foi introduzido por Frank Rosenblatt em 1958, sendo que seu modelo, conhecido como perceptron, era composto por uma estrutura de rede, composta por nodos MCP, e por uma regra de aprendizado. Os nodos são as unidades básicas de processamento simples que calculam determinadas funções matemáticas, são a emulação de um neurônio. O nodo do tipo MCP, proposto em 1943 por McCulloch e Pitts, é uma simplificação do que se sabia à época do neurônio biológico. A descrição matemática do nodo

MCP resultou em um modelo com  $n$  terminais de entrada, representando os dendritos, e apenas uma saída, representando o axônio. Pesos são acoplados aos terminais de entrada de forma a emular o comportamento das sinapses. A ativação do neurônio é obtida por meio de uma função de ativação, que ativa ou não a saída, dependendo da soma ponderada das suas entradas. Partindo do modelo proposto por McCulloch e Pitts, novos modelos foram propostos com novas funções de ativação, tais como função: i) linear; ii) rampa; iii) degrau (*step*); e iv) sigmoidal; com isto, a saída da rede deixa de ser necessariamente discreta (zero ou um), podendo assumir qualquer valor. A aprendizagem é o processo pelo qual os parâmetros de uma rede neural, por exemplo os pesos, são ajustados por meio de uma forma continuada de estímulo pelo ambiente no qual está operando, sendo o tipo específico de aprendizagem realizada definido pela maneira particular como ocorrem os ajustes realizados nos parâmetros. Inicialmente o modelo perceptron despertou euforia à comunidade científica da época, contudo, duras críticas foram evidenciadas à sua capacidade computacional em 1969, causando grande impacto às pesquisas de RNA na década de 70 e no início dos anos 80. (Braga et al., 2000). A Figura 28 apresenta o neurônio (nodo) MCP.

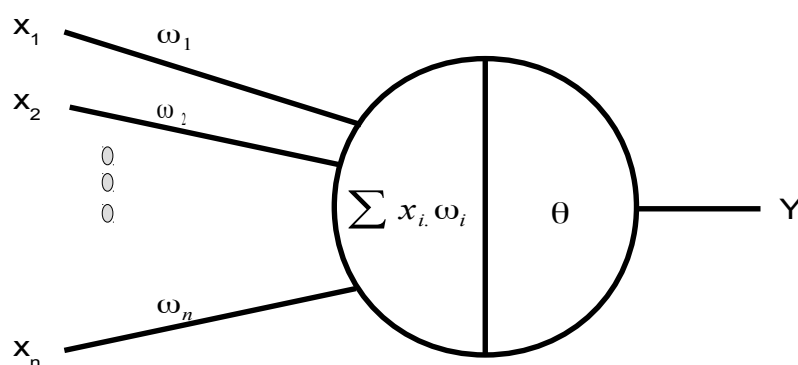


Figura 28: Neurônio MCP

Fonte: Adaptado pelo autor de Braga et al. (2000).

Nos quais:

$x_{1, 2, n}$  = são as entradas da rede neural;

$\omega_{1, 2, n}$  = são os pesos sinápticos das entradas;

$\theta$  = é a função de ativação; e

$Y$  = saída da rede neural.

Uma generalização da rede perceptron de camada única são as redes perceptrons de múltiplas camadas, também conhecidas como *multilayer perceptron* (MLP). Este tipo de RNA vem obtendo sucesso na resolução de problemas difíceis, por meio do seu treinamento, que

ocorre de forma supervisionada, com o popular algoritmo de retropropagação de erro, conhecido como *error back-propagation* ou simplesmente *back-propagation*. Uma rede MLP possui três características distintas: i) o modelo de cada neurônio de rede inclui uma função de ativação não-linear, normalmente a função logística; ii) a rede contém pelo menos uma camada de neurônios oculta, que não faz parte da entrada tão pouco da saída da rede. São estes neurônios que capacitam a rede a aprender tarefas complexas; e iii) a rede exibe um alto grau de conectividade, determinado pelas sinapses da rede. (Haykin, 2001).

A Figura 29 apresenta a representação de uma rede MLP com duas camadas escondidas, também chamadas de intermediárias, sendo a primeira com 4 nodos e a segunda com 3, a camada de entrada possui 3 entradas e a de saída apresenta 2 saídas.

Segundo Cybenko (1989 como citado em Braga et al., 2000, p. 55) uma rede MLP com uma camada oculta é o suficiente para aproximar qualquer função contínua. Já com duas camadas são suficientes para aproximar qualquer função matemática. (Cybenko, 1989 como citado em Braga et al., 2000, p. 55).

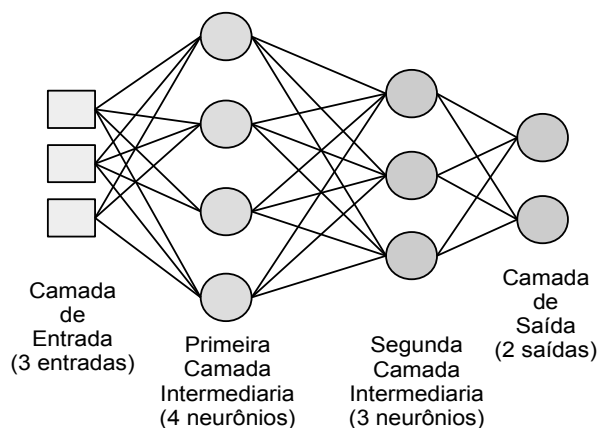


Figura 29: Representação de uma rede MLP.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 2.3.2 Aspectos históricos

Haykin (2001) faz a seguinte cronologia de desenvolvimento das redes neurais:

(a) 1943 marca os estudos modernos das RNA, em seu trabalho pioneiro de McCulloch e Pitts propuseram um modelo formal de neurônio, que seguia uma lei do tipo

“tudo ou nada”, eles mostraram que, com um nº suficiente desses neurônios, com conexões sinápticas ajustadas apropriadamente e operando de forma síncrona, seria possível realizar a computação de qualquer função computável;

(b) em 1949, Hebb publicou seu livro: *The Organization of Behavior*, que apresentou uma regra explícita de aprendizagem fisiológica para modificação sináptica, conhecida como postulado de aprendizagem, onde afirma que a eficiência de uma sinapse variável entre dois neurônios é aumentada pela ativação repetida de um neurônio causada pelo outro neurônio, através daquela sinapse;

(c) em 1952, Ashby publicou o livro: *Design for a Brain: The Origin of Adaptive Behavior*, que trata da noção básica de que o comportamento adaptativo é aprendido, e que por meio da aprendizagem o comportamento de um animal (sistema) normalmente melhora;

(d) Minsky teve 3 importantes contribuições: i) em 1954, escreveu sua tese: *Theory of Neural-Analog Reinforcement Systems and Its Application to the Brais-Model Problem*; ii) em 1961, seu artigo: *Steps Toward Artificial Intelligence*; e iii) em 1967, seu livro: *Computation: Finite and Infinite Machines*;

(e) em 1956, três contribuições: i) Gabor apresentou a ideia de um filtro adaptativo não linear; ii) Uttley demonstrou que uma rede neural com sinapses modificáveis pode aprender a classificar conjuntos simples de padrões binários em classes correspondentes; e iii) Taylor iniciou o trabalho sobre memórias associativas;

(f) em 1958, Rosenblatt propôs uma nova abordagem para o problema de reconhecimento de padrões, apresentando um método inovador de aprendizagem supervisionada, o perceptron;

(g) em 1960, duas contribuições: i) Rosenblatt teve seu trabalho coroado com o teorema da convergência do perceptron; e ii) Widrow e Hoff introduziram o algoritmo do mínimo quadrado médio, usando-o para formular um outro método de aprendizagem supervisionada, o Adaline; viii) em 1961, Steinbruch introduziu a matriz de aprendizagem;

(h) em 1965, Nilsson publica seu livro: *Learning Machines*, que trata de padrões linearmente separáveis por hipersuperfícies;

(i) em 1969, duas contribuições: i) Willshaw et. al, publicaram um artigo sobre a memória associativa não-holográfica; e ii) Minsky e Papert utilizam, em seu livro, a matemática para demonstrar que existem limites fundamentais para aquilo que os perceptrons de camada única podem calcular;

(j) em 1972, 3 trabalhos independentes de Anderson, Kohonen e Nahano introduziram a ideia de uma memória por matriz de correlação. O autor comenta que na década de 70 os trabalhos com RNA praticamente ficaram adormecidos, mas que nos anos 80s houve um ressurgimento;

(k) em 1980, Grossberg apresenta a teoria da ressonância adaptativa.

### 2.3.3 Aplicações

Com relação à aplicação prática, as RNAs possuem a vantagem de não necessitarem de conhecimentos de especialistas para tomada de decisões, visto que, elas se baseiam unicamente nos exemplos fornecidos, não sendo necessário conhecer suas razões e consequências. (Bocanegra, 2002). Com relação às aplicações na área de gerenciamento, Sharma e Chopra (2013) citam diversas aplicações de RNA nas áreas de: i) finanças – tradicionalmente utilizadas em problemas de modelagem e previsão, mas com grande crescimento de aplicações em análise de séries temporais financeiras; ii) marketing e vendas – utilizadas em problemas resolvidos anteriormente apenas por meio de análise estatística multivariada; iii) manufatura e produção – aplicações típicas da produção são previsões, tais como: de custos e datas de entregas; o controle de qualidade, que corresponde a problemas de classificação, bem como as otimizações, também são problemas comuns; iv) gerenciamento estratégico e política de negócios – são utilizadas para determinar e tornar mais compreensível a relação entre planejamento estratégico e o desempenho e também para avaliar a tomada de decisão. Segundo Raia (2000) um dos primeiros estudos de aplicação de RNAs na área de engenharia de transportes teria sido em 1989, procurando resolver problemas relacionados com a engenharia de tráfego. Já no Brasil, Corrêa (2008) cita que elas começaram a ser desenvolvidas nesta área por volta dos anos 90.

Segundo Faghri e Hua (1992a como citado em Bocanegra, 2002, p. 20) os problemas de transporte podem ser divididos em quatro categorias, sendo elas: i) planejamento; ii) operação e controle; iii) administração e finanças; e iv) construção e manutenção. Com base nesta categorização Bocanegra (2002) descreve algumas aplicações de RNA na área de transportes, conforme Quadro 13.

Planejamento		
Geração e Distribuição de Viagens	i	Faghri e Hua (1992b) estabeleceram um modelo de geração de viagens com a utilização de dez indicadores socioeconômicos
	ii	Kikuchi et al. (1993) empregaram as RNAs para determinar uma matriz O/D considerando as relações de causa-efeito quando muitos grupos de dados, para a causa e o efeito, são avaliados
	iii	Chin et al. (1994) geraram uma matriz O/D com base no volume de tráfego observado em uma rotatória e suas aproximações para três horários de pico diário
	iv	Faghri e Aneja (1996) propuseram a utilização das RNAs na estimativa de geração de viagens com base no princípio de que a decisão humana é inerentemente não linear
	v	Nijkamp et al. (1996) apresentaram um estudo onde desenvolvem análises comparativas entre o Modelo Logit e RNA, para a modelagem do fluxo de viagens interurbanas na Itália
	vi	Shmueli et al. (1996), exploraram a aplicação de RNAs na avaliação de ferramentas para previsão de viagens, comparando o padrão de viagens entre homens e mulheres, em Israel
	vii	Mozolin et al. (2000) fizeram uma comparação entre a previsão de distribuição de viagens feita com RNA e usando o modelo de Máxima Verossimilhança duplamente restringido
	viii	Raia Jr (2000) utilizou as RNAs e sistemas de informação geográfica para estimar um índice de potencial de viagens utilizando variáveis de acessibilidade e mobilidade
	ix	Dantas et al. (2000) integraram as RNAs, os sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto para a previsão da demanda de viagens no contexto do planejamento estratégico
	x	Ruiz e Medina (2000), utilizaram as RNAs para obter modelos de geração de viagens e compará-los com os modelos obtidos através de regressão linear múltipla
Sistemas de Transporte	xi	Hua e Faghri (1994) utilizaram RNAs para estimar tempos de viagem considerando três condições observadas em rodovias inteligentes: condição normal, bloqueio da faixa esquerda e bloqueio da faixa direita
	xii	Vitela et al. (1996) propuseram RNA para controlar distâncias entre veículos em sistemas de transportes inteligentes
	xiii	Vukadinovic et al. (1996) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para poder diminuir a carga de trabalho dos despachantes que realizam o controle do tráfego no sistema de trens suburbanos da cidade de Belgrado, Iugoslávia
	xiv	Martinelli e Teng (1996) usaram RNAs para otimizar as operações de trens



	xv	Wermersch e Kawamoto (1999) estudaram a viabilidade de caracterizar o comportamento dos usuários dos sistemas de transportes em relação ao modo de viagem
Reconhecimento e Contagem de Tráfego	xvi	Bullock et al. (1993) aplicaram RNAs como método de detecção de veículos para efeito de contagem
Projetos de Transporte	xvii	Furtado (1998) apresentou uma nova abordagem na análise de projetos de transporte, usando as RNAs como técnica para avaliar e ordenar alternativas
Operação e Controle		
Controle de Semáforos	i	Nakatsuji e kaku (1989), procuraram resolver temas relacionados com a engenharia de tráfego
	ii	Nakatsuji e kaku (1991), fizeram uma aplicação de RNA para resolver problemas de organização de controles semafóricos nos EUA, cujos resultados foram considerados superiores quando comparados com aqueles obtidos pelos métodos analíticos tradicionais
	iii	Hua e Faghri (1993) adaptaram uma RNA para cruzar volumes de tráfego, tempo e ligações a fim de determinar o controle dinâmico dos parâmetros utilizados em um semáforo (tamanho do ciclo e fases)
	iv	Chang e Su (1995) foram capazes de estimar a espera numa intersecção com ajuda de RNAs
Definição de Zonas de Dilema	v	Huang e Pant (1994) determinaram uma zona de dilema (área onde o motorista, vendo a luz amarela, toma a decisão de parar ou seguir no cruzamento) com base em três tipos de comportamentos examinados (passar do sinal vermelho, parar abruptamente ou acelerar no amarelo). Com base nas observações realizadas, a RNA estimou o tamanho da zona
	vi	Pant e Balakrishnan (1994) propuseram o uso da RNA para estabelecer o intervalo de aceitação admitido por motoristas em cruzamentos sem semáforos
Detecção de Acidentes	vii	Ivan et al. (1995) e Ivan (1997), utilizaram as RNAs para fazer a análise da probabilidade de ocorrência de acidentes de trânsito a partir de parâmetros como o fluxo, a concentração e velocidades dos veículos nas vias
	viii	Stephanedes e Xiao (1995) propuseram reduzir o número de alarmes falsos sobre acidentes em rodovias através do uso das RNAs para reconhecer ondas de compressão, pulsos de tráfego e detectar mal funcionamento de equipamentos
	ix	Cheu e Ritchie (1995) usaram as RNAs para a detecção automática de incidentes ocorridos em vias expressas devido ao bloqueio de faixas

	x	Dia e Rose (1997) desenvolveram e avaliaram modelos em RNAs de detecção de incidentes ocorridos em vias expressas, usando dados de campo
	xi	Abdulhai e Ritchie (1999) usaram as RNAs para a detecção de incidentes ocorridos em vias expressas
	xii	Mussone et al. (1996) e Mussone et al. (1999) aplicaram RNA para analisar e estimar a probabilidade de acidentes de trânsito em cidades italianas
	xiii	Abdel-Aty e Abdelwahab (2001a) e (2001b) empregaram as RNA para prever a severidade dos ferimentos dos motoristas em acidentes de trânsito, examinando a relação entre a severidade dos ferimentos e o motorista, o veículo, a rodovia e características ambientais
Controle de Congestionamentos	xiv	Siao et al. (1994) descreveram o desenvolvimento de um sistema que combina lógica difusa ( <i>fuzzy logic</i> ) com a capacidade de aprender/adaptar das RNAs para aprimorar o processo de detecção de incidentes em rodovias expressas
Administração e Finanças		
Administração e finanças	i	Wei e Shonfeld (1994) utilizaram RNAs para propor o tempo de construção de novos trechos de uma rede de transportes, com base na análise benefício/custo realizada em função do tráfego projetado e com base nos recursos disponíveis para atender a todas as demandas observadas no sistema
Construção e Manutenção		
Sistema de Gerência de Pavimentos	i	Fwa e Chan (1993) compararam o desempenho das RNAs com diversos índices subjetivos utilizados em um sistema de gerência de pavimentos, e concluíram que o modelo proposto foi capaz de determinar, com maior segurança, índices não lineares e lineares
	ii	Taha e Hanna (1995) combinaram as RNAs com algoritmos genéticos para selecionar as melhores redes utilizadas na resolução de problemas de manutenção de pavimentos
	iii	Randolph (1996) usou as RNAs para desenvolver modelos de previsão que possam ajudar aos encarregados da manutenção de vias nas operações que realizam, como por exemplo: distribuição de grupos de trabalhadores, determinação de custos diários de operações de manutenção de vias, etc
	iv	Pant et al. (1996) compararam a técnica Delphi, utilizada para determinar ações a serem tomadas na manutenção de pavimentos urbanos, com as RNAs
	v	Brega (1997) foi demonstrar que as RNAs podem ser utilizadas para a avaliação da condição do pavimento e a determinação do tipo de restauração a ser empreendida

Superfícies e Materiais Utilizados	vi	Rodgher & Oda (1997) realizaram um trabalho que trata da previsão de defeitos nas estradas através da utilização de RNAs, com base nos fatores que influenciam a formação dos defeitos (características geotécnicas, climáticas, geométricas e tráfego)
	vii	Rodgher et al. (1998) apresentaram um método que utiliza as RNAs para seleção de atividades de manutenção e reabilitação de estradas não pavimentadas
	viii	Kaseko e Ritchie (1993) utilizaram uma aplicação baseada no processamento de imagens para detectar, classificar e quantificar os vários defeitos observados em pavimentos flexíveis
	ix	Attonh-Okine (1994) utilizou as RNAs para determinar a deformação estrutural dos pavimentos flexíveis, verificando que este recurso computacional apresenta mais vantagens de que os métodos estatísticos tradicionais
	x	Owusu-Ababio (1995) considerou a relação [pavimento]-[veículo]-[fatores ambientais], para, através das RNAs, determinar a resistência aos fenômenos de derrapagem
	xi	Odgher et al. (1997) apresentaram um estudo para a aplicação da técnica das RNAs para previsão da classe MCT dos solos pertencentes às regiões tropicais

Quadro 13: Aplicações de RNA na área de Transportes.

Fonte: Adaptado pelo autor de Bocanegra (2002, pp. 20-25).

Na revisão dos artigos sobre aplicações de RNA na área de transportes, realizada por Dougherty (1995 como citado em Aguiar, 2004, p. 50), se observou um grande interesse de utilização dessa ferramenta na área de transportes nos anos 90, sendo que, a maioria dos problemas estudados era não linear, possuindo numerosas e complexas fontes de dados, justificando assim a utilização das RNA. Os artigos publicados até então foram categorizados, sendo que, quanto a demanda por transporte, destacou as seguintes categorias: i) estimativa de parâmetros em situações tais como previsão de fluxos de tráfego e de prazos para cumprimento de rotas; ii) otimização de rotas e agendas para operações de frete; iii) previsão de fluxos de tráfego, com previsões estratégicas para planejamento de uso ou expansão de vias e previsões de congestionamento de curto prazo. Com relação à aplicabilidade, Dougherty (1995 como citado em Aguiar, 2004, pp. 55-56), cita os seguintes achados:

- a) na maioria dos artigos utilizou-se o algoritmo *back-propagation*;
- b) as RNA estavam também sendo aplicadas como subsistemas integrantes de outros produtos como, por exemplo, sistemas de gestão de tráfego;
- c) a comparação de desempenho da RNA com outras ferramentas deveria ser cuidadosa, uma vez que problemas não lineares não são resolvidos de modo adequado com ferramentas de regressão linear;

- d) as RNA eram mais fáceis e rápidas para modelar do que ferramentas estatísticas contudo, seu uso era mais complexo, em parte por sua natureza de “caixa-preta”;
- e) as pesquisas em transporte com utilização de RNA estavam atingindo um valor crítico a partir do qual se poderia começar a implantação efetiva em sistemas reais;
- f) um dos requisitos fundamentais para se trabalhar com RNA eram a qualidade das fontes de dados.

Nessa revisão da literatura, foi identificado a necessidade da experimentação de outros paradigmas além do algoritmo *back-propagation*, tais como: a quantização vetorial por aprendizagem; e a teoria de ressonância adaptativa. E ainda algumas dificuldades para o uso das RNA, tais como: i) exigência de um esforço, por tentativa e erro, para otimização das configurações da rede; ii) dificuldade para a interpretação e validação dos modelos, que não eram de entendimento trivial; e iii) investimentos em ferramentas (*softwares*), plataforma computacional e pessoal qualificado. (Aguiar, 2004).

Carvalho (1999 como citado em Aguiar, 2004, pp. 56–57) aplicou RNA na etapa 3 do modelo UTMS – Escolha/Divisão modal – com o objetivo de investigar a utilização do algoritmo *back-propagation* na solução do problema de escolhas entre alternativas de transporte. A autora comparou os resultados das RNAs com três modelos probabilísticos do tipo Logit, onde o processo de aprendizagem das RNA envolveu 512 observações (entradas) e o de testes 27 observações. O modelo com RNA apresentou um desempenho superior aos modelos Logit utilizados, levando a conclusão que os modelos de RNA com a utilização do algoritmo *back-propagation* poderiam superar o modelo Logit em termos de valores de erros absolutos. Também foi observado que: i) os resultados dos modelos de RNA melhoraram com o aumento do número de épocas de treinamento; e ii) não ocorreram situações de *overfitting*.

Na mesma linha do estudo anterior, os resultados dos modelos de RNA e *nested* Logit foram comparados utilizando dados coletados das cidades australianas de Sydney e Melbourne, sendo que, os modais disponíveis aos passageiros eram o: i) automóvel; ii) ônibus; e iii) trem. Os modais públicos foram caracterizados: i) pelo tempo e frequência das viagens; ii) pelas distâncias dos pontos de parada até os locais de origem de destino; e iii) e pelas tarifas praticadas; já o automóvel foi caracterizado: i) pelo tempo de viagem; e ii) pelos custos de combustível, estacionamento e pedágio. Dos dados coletados, 80% foram utilizados na etapa de treinamento/calibração dos modelos e o restante para os testes. O modelo neural utilizado tinha as seguintes características: i) uma camada intermediária de neurônios; ii)

função de ativação tipo *sigmoidal* logística; e iii) algoritmo de aprendizagem do tipo *back-propagation*. Os aspectos avaliados da RNA foram a: i) capacidade de generalização; e ii) convergência da rede; sendo que, o aumento do número de neurônios na camada intermediária conduziu a uma melhor convergência, contudo, acima de um certo valor foram observadas dificuldades de generalização. Foram testados valores entre 20 e 30 neurônios, sendo que 30 foi o mais adequado. A conclusão dos autores é que não houve um modelo melhor que o outro, no entanto, o modelo neural era mais resistente à presença de ruídos nos dados e que a perda de um componente ou neurônio não prejudicaria significativamente a sua capacidade de predição. (Hensher & Ton, 2000 como citado em Aguiar, 2004, pp. 57-58).

Mozolin, Thill e Usery (2000 como citado em Aguiar, 2004), trabalharam com dados coletados na região metropolitana da cidade de Atlanta, nos Estados Unidos, entre os anos de 1980 e 1990, para comparar o desempenho de modelos tradicionais de planejamento de transporte com modelos neurais. As características do modelo de RNA utilizado foram: i) rede MLP com três camadas de neurônios; ii) três camadas de entrada representando para as viagens a: atração; produção; e impedância; iii) uma saída representando o fluxo entre duas regiões (zonas de tráfego); iv) 100.000 épocas como critério de parada; e v) algoritmo de aprendizagem tipo *QuickProp*, sem termo momento e sem taxa de aprendizagem. O processo para seleção do número de neurônios na camada intermediária foi por tentativa e erro, sendo testadas configurações com 5, 20 e 50 neurônios ocultos. Cada configuração foi processada a partir da criação de 5 conjuntos de dados, obtidos de forma aleatória do conjunto de dados originais. Os dados de entrada foram normalizados, dividindo todos eles pelo maior valor existente no conjunto. Bem como os valores de saída, utilizando uma transformação linear, de forma que elas ficassem entre os limites 0,25 e 0,75. Os autores observaram que: i) não houve impacto significativo do número de neurônios ocultos no tocante à qualidade do ajuste; ii) não valeu a pena treinar a rede além de 10.000 épocas; e iii) para o ano de 1990, nenhum dos modelos neurais apresentou resultados melhores do que o modelo convencional. Como um resultado melhor era esperado para as RNA, os autores consideraram as seguintes hipóteses como possíveis causas para o insucesso do modelo neural neste ano: i) a RNA aprendeu também os ruídos dos dados; ii) o número de neurônios na camada intermediária foi excessivo; iii) a amostragem aleatória por estratificação não permitiu o treinamento amplo para todas as situações; iv) o uso da função *sigmoidal* nos neurônios de saída limitou os valores de saída da RNA. Posteriormente, testando algumas dessas hipóteses, os autores

observaram que: i) a capacidade de generalização do modelo de RNA melhorou com a redução do número de neurônios na camada intermediária; e ii) a amostragem randômica estratificada ao invés de amostragem randômica uniforme não melhorou a precisão dos resultados. Mesmos com as melhorias o modelo neural não conseguiu melhor desempenho do que o modelo convencional para o ano de 1990. Os autores observaram que os dados de 1990 estavam fora da faixa de dados de treinamento de 1980 e concluíram que: i) os modelos de RNA com *back-propagation* eram dependentes do contexto; ii) o modelo convencional de máxima probabilidade é uma ferramenta melhor para o planejamento urbano e regional, pois necessita de apenas um parâmetro e pode ser independente do contexto; e iii) dentro do seu domínio de treinamento, os modelos de RNA poderiam ter um melhor desempenho que os modelos convencionais.

Assim como Bocanegra (2002), Aguiar (2004) também cita o trabalho de Raia (2000), que desenvolveu modelos para estimar potenciais de viagens urbanas que consideraram aspectos de acessibilidade e mobilidade com utilização de RNA. Os dados para treinamento, testes e validação do modelo neural foram obtidos de uma pesquisa O/D realizada na cidade de Bauru, em São Paulo. Eles foram categorizados em: i) endereços das viagens; ii) domicílios de origem e destino; iii) composição das famílias; e iv) composição das zonas de tráfego. Dos dados disponíveis: i) 50% foram utilizados para treinamento da rede; ii) 25% para testes; e iii) os outros 25% para validação do modelo. Inicialmente o autor construiu modelos de RNA considerando todas as variáveis disponíveis como entradas e duas variáveis de saída: i) número de viagens realizadas por família; e ii) distância total percorrida utilizando-se cada modo de transporte. Após o treinamento e convergência dos modelos e a partir da análise de relevância de cada uma das variáveis – por meio da metodologia de Garson – foram construídos outros modelos nos quais consideraram-se como entrada somente as três variáveis de maior relevância: i) número de pessoas na família; ii) renda familiar; e iii) posse de carteira de habilitação. Esse procedimento não alterou significativamente os resultados das variáveis de saída do modelo neural. Os resultados obtidos pelos modelos apresentaram um desempenho aceitável quando comparados com a realidade.

Outra aplicação de RNA na área de transportes identificada por Aguiar (2004) foi a proposição de um modelo de comportamento na escolha de modos de transporte – etapa 3 do modelo UTMS – estruturado em: i) lógica nebulosa (*fuzzy logic*); ii) raciocínio aproximado; e iii) RNA. Onde a escolha dos modos, pelos usuários do serviço, deram-se por poucas regras

simples do tipo “se... então” e em atributos linguísticos, tais como: baixo; alto; ou muito alto; por exemplo: se o tempo de viagem pelo modo A for alto então escolho viajar pelo modo B. O objetivo do trabalho foi incorporar pesos as regras de escolha do modal e a calibração com um modelo neural. Os dados para o trabalho foram coletados por meio de pesquisa, onde o objetivo foi avaliar quais fatores influenciavam na escolha entre viagens por carro ou trem nas ferrovias holandesas? Os seguintes dados foram coletados pela pesquisa: i) modos escolhidos; ii) objetivos e custos das viagens; iii) tempo total gasto; iv) tempo para acesso aos modos; v) tempo para saída dos modos; vi) número de transferências entre os modos; e vii) idade e gênero dos respondentes. O modelo neuro-*fuzzy* desenvolvido possuía quatro entradas, sendo elas: i) o tempo de viagem; ii) o custo da viagem; iii) o tempo de acesso ao modo; e iv) os atributos linguísticos, e a camada de saída da rede representava as opções entre os modos ferrovia ou carro, sendo elas: i) não são preferidos; ii) provavelmente não são preferidos; iii) são alternativas indiferentes; iv) são provavelmente preferidos; e v) são preferidos. O treinamento do modelo neural foi realizado com a função de ativação logística e o método de gradiente descendente. As conclusões dos autores foram que: i) a rede foi capaz de modelar as decisões dos usuários para o problema da escolha discreta entre modos de transporte; ii) o desempenho do modelo foi comparado com o modelo convencional de maximização, baseado na formulação Logit, e teve um comportamento mais estável e com maior porcentagem de previsão correta. (Vythoulkas & Koutsopoulos, 2003 como citado em Aguiar, 2004, p. 62).

Na mesma linha do trabalho anterior – escolha de modos de transporte – dados de mais de 2.800 entrevistas com passageiros na região de Campania, na Itália, foram utilizados para treinar, testar e validar dois modelos neurais e um modelo tradicional de escolha modal, sendo eles: i) RNA com uma arquitetura de três camadas, utilizando a função de ativação tangente hiperbólica na camada oculta e a função *sigmoidal* na camada de resultados; ii) RNA com dados de utilidade percebida, contando com quatro camadas de neurônios e utilizando a função de ativação tangente hiperbólica nas camadas ocultas e a *sigmoidal* na camada de resultados; e iii) modelo tradicional tipo Logit multinominal, um modelo de utilidade baseado em escolha discreta, onde cada alternativa de transporte recebe um valor de utilidade percebida pelos usuários. Os atributos utilizados na especificação dos modelos foram categorizados em quatro grupos: i) nível de serviço, com dados de custo financeiro e de tempo de viagem e uma variável binária para indicar se a viagem era curta ou não, isto é, se o tempo total era menor ou não do que quinze minutos; ii) socioeconômicos, com uma variável binária

que indicava se o modo de viagem por carro estava disponível ou não e o gênero do viajante; iii) de atividade e de uso do solo, com a duração do tempo da atividade a ser realizada pelo usuário na localidade de destino e com a frequência semanal das viagens; iv) outros, com um atributo específico alternativo do modelo de utilidade randômica. O problema do *overfitting* foi tratado de maneira heurística por meio da definição inicial de um grande conjunto de validação, composto por 75% dos dados disponíveis. Os modelos foram comparados via o erro médio quadrado entre os valores simulado e observado. A técnica de Nguyen e Widrow foi utilizada na inicialização dos pesos das conexões e bias. As conclusões do trabalho foram: i) o modelo neural com a utilidade percebida na camada intermediária apresentou o menor erro médio quadrado; e ii) a ferramenta RNA foi a mais adequada para análise de demanda de transporte de passageiros e poderia ser utilizada inclusive para indicar a melhor performance a ser obtida por um modelo comportamental para escolha de modos de transporte. (Cantarella & Luca, 2003 como citado em Aguiar, 2004, p. 63–64).

Alekseev e Seixas (2002 como citado em Aguiar, 2004, p. 64–65) desenvolveram um modelo neural para previsão de demanda de transporte aéreo de passageiros no Brasil obtendo resultados melhores do que aqueles obtidos com o modelo econométrico, utilizado na época. Esse modelo contava com as variáveis de entrada: i) o preço de venda dos bilhetes; ii) o volume de passageiros transportados; iii) o número de decolagens; e iv) o número de assentos ofertados, e ainda dois cenários – variável *dummy* (presente ou ausente), função de ativação (*sigmoidal* ou tangente hiperbólica), pré-processamento dos dados (com e sem) -. Os dados foram separados em três grupos para treinamento, testes e validação da rede. A melhor solução encontrada foi com: i) variável *dummy* ausente; ii) função de ativação hiperbólica; e iii) realização de pré-processamento dos dados.

Da análise da revisão da literatura sobre transporte de passageiros e redes neurais artificiais, Aguiar (2004, p. 65) concluiu que:

[...] que a ferramenta RNA vem sendo utilizada na solução de diversos problemas na área de transporte de passageiros, substituindo as ferramentas tradicionais, com vantagens, em situações de previsão de parâmetros de viagens, tais como escolha de modos ou rotas e estimativa de demanda.

Viglioni (2008) utilizou cinco técnicas de previsão demanda de curto prazo (*short-term*) para a solicitação de demanda de transporte ferroviário, sendo elas: i) média móvel; ii) amortecimento exponencial; iii) suavização exponencial com séries de tendências (método de Holt); iv) regressão linear; e v) redes neurais artificiais, sendo que os melhores resultados



foram alcançados com a técnica das RNA. Com uma amostra de dados de 3 anos, a técnica obteve a redução do erro, em média, de 25%, mesmo sem a retirada dos componentes da tendência e da sazonalidade da série.

Corrêa (2008) em seu estudo exploratório para conhecer o estado da arte do uso e a aplicação da técnica de RNA no setor de transportes no Brasil, partiu da revisão da literatura de Dougherty (1995). Ele adotou a seguinte categorização das aplicações: i) planejamento e operação de transportes, subdivididas em transporte terrestre aéreo e aquaviário; ii) planejamento e operação de trânsito e iii) transporte de cargas e logística.

Na categoria de planejamento e operação de transportes, Corrêa (2008, p. 17) enfatiza a importância da matriz O/D para os engenheiros de tráfego e as dificuldades e gastos em pesquisas de campo para obtê-las. Aponta também dois problemas que podem ocorrer para a estimação de uma matriz O/D por meio de RNA, sendo que eles estão relacionados a quantidade de pontos que uma matriz O/D pode ter; os problemas são:

[...] dois grandes problemas podem ocorrer. Primeiro, o tempo de cálculo computacional da rede neural deverá aumentar com o quadrado do número de pontos. Em segundo lugar, o número de exemplos do treinamento necessário para habilitar a rede se tornará muito grande, e a coleta de dados reais, nesta escala, ficará impraticável.

Já para os problemas que envolve previsões de fluxos de trânsito com base em uma matriz O/D já conhecida – um problema clássico de atribuição de tráfego – as RNA são, provavelmente, muito mais eficazes. Isso se deve, aos bons resultados que podem ser conseguidos usando os dados coletados somente no link de interesse. (Corrêa, 2008). Trabalhos relacionados à área econômica também foram constatados, tal como a modelagem do impacto do ruído do tráfego aéreo nos preços dos imóveis adjacentes a um terminal aeroportuário, onde um modelo neural foi usado como uma ferramenta para análise multivariada. As entradas da RNA consistiam dos fatores que poderiam afetar o preço de venda de um imóvel, tais como: i) o estado; ii) a área; iii) a idade; e iv) um fator de ruído que reflete o incômodo e o aborrecimento causado pelos aviões que pousam/decolam em um aeroporto, entre outros. (Collins & Evans, 1994 como citado em Corrêa, 2008, p. 19). Na área de previsão de demanda (tráfego) o autor dividiu os trabalhos identificados em duas categorias: i) longo prazo, previsões estratégicas; e ii) curto prazo, previsões táticas/operacionais. Sendo que, em ambas foram identificados resultados promissores. (Corrêa, 2008). Em uma aplicação de RNA para a tomada de decisão do processo de

conservação de pavimento foi analisado a taxa de aprendizado e o *momentum* do modelo neural. Os dados do tráfego foram utilizados para treinamento da rede, onde sua saída é a previsão do desempenho do pavimento. A conclusão do trabalho foram resultados pouco robustos para os dados e a arquitetura utilizados. (Attoh-Okine, 1999 como citado em Corrêa, 2008, p. 28). No trabalho de La Franca et al. (2004 como citado em Corrêa, 2008, p. 28), o objetivo foi melhorar a eficiência do sistema de transporte público, por meio da automatização de sistemas de controle remoto da frota de ônibus rodoviários. Os dados da posição veicular da frota de ônibus foram utilizados como entrada em um modelo neural, que por sua vez, foi utilizado na calibração de uma função multidimensional entre as variáveis independentes e o valor da velocidade comercial em um dia de trabalho médio, com condições diferentes de tráfego, em diferentes partes da rede de transportes. O modelo calibrado foi testado nas várias partes da rede de transportes públicos e produziu bons resultados na comparação entre dados estimados e observados.

### 2.3.4 Quadro resumo do eixo teórico Redes Neurais Artificiais

O Quadro 14 apresenta um resumo dos principais autores e trechos citados do eixo teórico (polo) Redes Neurais Artificiais que ajudam a responder a questão de pesquisa.

Autor	Trecho
Haykin (1999, p. 24)	Uma rede neural artificial representa um modelo de processamento massivamente paralelo e distribuído, formado por unidades simples de processamento, que tem uma propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso.
Braga et al. (2000, p. 1)	A atratividade da solução de problemas por meio de modelos neurais está na forma como estes são representados internamente pela rede e o paralelismo natural inerente à arquitetura das RNA que criam a possibilidade de um desempenho superior ao dos modelos convencionais
Bocanegra (2002, p. 1)	Comparado com modelos convencionais de análises de regressão a solução de problemas por RNA pode apresentar um desempenho superior
Bocanegra (2002, p. 2)	[...] três contratempos para os modelos construídos a partir de RNA: em geral, eles são obscuros para o usuário final – tipo caixa-preta; o processo de aprendizagem da rede é de difícil entendimento; e a dependência do software utilizado no processo de treinamento da

Autor	Trecho
	rede para futuras utilizações em estimativas e simulações do modelo validado
Akamine (2005)	[...] carência de técnicas para seleção da rede neural a ser utilizada na modelagem, isto é, a arquitetura que apresentará o melhor desempenho e poder de predição, sendo que, na maioria dos trabalhos, os parâmetros da rede são escolhidos aleatoriamente e, ainda que se consiga resultados satisfatórios variando-se tais parâmetros, nem sempre a rede utilizada representa a solução ótima
Akamine (2005, p. 2)	Para contornar a carência de técnicas [...] Fischer e Reismann (2002b) sugerem o uso de procedimentos de busca global como Simulated Annealing (SA), Alopex e Algoritmos Genéticos. Outra possibilidade para melhorar o desempenho dos modelos é o uso do método de estimação por bootstrap, na fase de divisão dos dados para treinamento das redes
Raia (2000, p. 105)	Um dos primeiros estudos de aplicação de RNAs na área de engenharia de transportes teria sido em 1989, procurando resolver problemas relacionados com a engenharia de tráfego
Dougherty (1995 como citado em Aguiar, 2004, p. 55)	[...] na maioria dos artigos utilizou-se o algoritmo back-propagation
Aguiar (2004)	[...] necessidade da experimentação de outros paradigmas além do algoritmo back-propagation, tais como: a quantização vetorial por aprendizagem; e a teoria de ressonância adaptativa. E ainda algumas dificuldades para o uso das RNA, tais como: i) exigência de um esforço, por tentativa e erro, para otimização das configurações da rede; ii) dificuldade para a interpretação e validação dos modelos, que não eram de entendimento trivial; e iii) investimentos em ferramentas (softwares), plataforma computacional e pessoal qualificado
Carvalho (1999 como citado em Aguiar, 2004, pp. 56–57)	aplicou RNA na etapa 3 do modelo UTMS [...] algoritmo back-propagation [...] os resultados dos modelos de RNA melhoraram com o aumento do número de épocas de treinamento; e não ocorreram situações de overfitting.
Hensher e Ton (2000 como citado em Aguiar, 2004, pp. 57-58).	[ ...] os resultados dos modelos de RNA e nested Logit foram comparados [...] Dos dados coletados, 80% foram utilizados na etapa de treinamento/calibração dos modelos e o restante para os testes [...] características do modelo: uma camada intermediária de neurônios; função de ativação tipo sigmoidal logística; e algoritmo de aprendizagem do tipo back-propagation. [...] o aumento do número de neurônios na camada intermediária conduziu a uma melhor convergência, contudo, acima de um certo valor foram observadas dificuldades de generalização

Autor	Trecho
Mozolin, Thill e Usery (2000 como citado em Aguiar, 2004)	<p>[...] características do modelo ... MLP com 3 camadas de neurônios; 3 camadas de entrada representando para as viagens; 1 saída representando o fluxo entre duas regiões; 100.000 épocas como critério de parada; e algoritmo de aprendizagem tipo QuickProp, sem termo momento e sem taxa de aprendizagem [...] processo para seleção do número de neurônios na camada intermediária foi por tentativa e erro [...] 5 conjuntos de dados aleatórios, os valores de saída [...] transformação linear, de forma que elas ficassem entre os limites 0,25 e 0,75. [...] não houve impacto significativo do número de neurônios ocultos no tocante à qualidade do ajuste; [...] apresentou resultados melhores do que o modelo convencional [...] testando algumas hipóteses: a capacidade de generalização do modelo de RNA melhorou com a redução do número de neurônios na camada intermediária; a amostragem randômica estratificada não melhorou a precisão dos resultados [...] os dados de 1990 estavam fora da faixa de dados de treinamento de 1980 e concluíram que: os modelos de RNA com back-propagation eram dependentes do contexto; o modelo convencional de máxima probabilidade é uma ferramenta melhor para o planejamento urbano e regional, pois necessita de apenas um parâmetro e pode ser independente do contexto [...]</p>

Quadro 14: Quadro resumo do polo teórico Redes Neurais Artificiais.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este capítulo descreve os polos metodológicos e técnico deste trabalho, buscando caracterizar esta pesquisa de acordo com a sua natureza, o seu objetivo, o seu delineamento (técnicas/estratégia) de investigação, os seus tipos de dados, e os procedimentos de coleta e análise de dados.

Este trabalho está posicionado nas fases iniciais do ciclo e vida dos projetos, mais precisamente na fase do planejamento antecipado, que é direcionada à tomada de decisão da participação em novos empreendimentos mediante a várias análises, inclusive a econômico-financeira. O objetivo do trabalho consiste em desenvolver um modelo de previsão de demanda de sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos baseados em redes neurais artificiais. O estudo utiliza os dados da pesquisa O/D de 2012 e da base de dados de entradas de passageiros das operadoras de metrô e trem (Metrô, ViaQuatro e CPTM) da região metropolitana de São Paulo como dados para o treinamento, testes e validação do modelo de previsão neural. A ideia é utilizar o modelo como ferramenta para a previsão de fluxo de caixa de empreendimentos nesta modalidade.

Os parâmetros da RNA, tais como: i) as variáveis de entradas; ii) o nº de camadas escondidas; iii) o nº de neurônios; iv) o algoritmo de treinamento entre outros, foram pesquisados no levantamento bibliográfico e implementados em uma ferramenta de software específico (SciLab). Os resultados das várias arquiteturas implementadas foram comparadas para verificação das melhores performances obtidas.

#### 3.1 A METODOLOGIA CIENTÍFICA

Segundo Sagan (1996), a ciência é uma tentativa de compreender o mundo, de controlar as coisas, de ter domínio sobre nós mesmos, de seguir um rumo seguro. A pesquisa científica é a maneira de seguir esse rumo, ela pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que objetiva proporcionar respostas aos problemas propostos; essas são conseguidas por meio dos conhecimentos disponíveis e pela utilização de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos. Isso tudo, em um processo com várias fases, partindo da

formulação adequada do problema de pesquisa até se chegar a apresentação satisfatória dos resultados obtidos. (Gil, 2002). Ainda com relação à pesquisa, Gerhardt e Silveira (2009, p. 31) afirmam que:

é a atividade nuclear da Ciência. Ela possibilita uma aproximação e um entendimento da realidade a investigar. A pesquisa é um processo permanentemente inacabado. Processa-se por meio de aproximações sucessivas da realidade, fornecendo-nos subsídios para uma intervenção no real.

[...] é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objetivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos.

Para Gil (2002, p. 17) a realização de uma pesquisa é justificável quando:

não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

Como apresentado anteriormente, o objetivo de uma pesquisa é dar respostas ou resolver um problema. Segundo Martins e Theóphilo (2009, p. 22) “a pesquisa se inicia pelo problema e é a busca de solução para o problema que orienta toda a lógica da investigação”. Contudo, para atingir esse objetivo é necessário que o problema seja bem formulado, com foco no método científico, isto é, ele deve envolver variáveis que possam ser testáveis. (Gil, 2002). No entanto, Martins e Theóphilo (2009, p. 22) afirmam que:

Não se observa um consenso em torno de que tipos de problemas podem ser objeto de investigação da ciência. Isso se deve à existência de diferentes concepções de cientificidade ou de demarcação entre o que se considera ou não como científico.

Nesse sentido, Kerlinger (1980 como citado em Gil, 2002) afirma que a maneira mais prática para entender o que é um problema científico consiste em compreender antes quais formulações de problemáticas são consideradas inadequadas. Neste sentido são citados: i) os problemas de engenharia – que tratam de como fazer as coisas; e ii) as questões de valor – que tratam de qual de duas ou mais coisas é melhor ou pior que outras. (Martins & Theóphilo, 2009). Hegenberg (1969 como citado em Martins & Theóphilo, 2009) considera, dependendo de como a problemática for formulada, possível o tratamento científico das questões de engenharia. Ele divide os problemas em três categorias distintas, sendo elas: i) problemas teóricos – abordados como hipóteses e observações, permitindo assim sua utilização científica; ii) problemas de ação – que tratam de soluções ou políticas a serem adotadas, portanto, não suportando a abordagem científica; e iii) problemas técnicos, também conhecidos por problemas teóricos particularizados – que se caracterizam em algo do tipo

como construir algo dentro de tais ou quais especificações? Suportando assim o método científico.

Assim, a questão de pesquisa principal proposta neste trabalho – **Como a aplicação de um modelo teórico de previsão de demanda baseado em RNA, utilizando como entradas as variáveis do modelo UTMS, pode contribuir para a gestão de projetos de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos?** – enquadra-se na terceira categoria de Hegenberg – problemas técnicos (teóricos particularizados) – suportando assim a abordagem da metodologia científica.

## 3.2 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa científica pode ser classificada em função de diversos critérios; esta seção detalha o trabalho em questão apresentado várias delas.

### 3.2.1 Classificação com relação à natureza da pesquisa

As razões para a realização de uma pesquisa podem ser classificadas em dois grandes grupos, sendo eles: i) os de ordem intelectual, caracterizando a pesquisa pura que decorrem do desejo de conhecer pela própria satisfação em conhecer; e ii) os de ordem prática, caracterizando a pesquisa aplicada que vem do desejo em conhecer com vistas a fazer algo de maneira mais eficiente ou eficaz. Gil (2002, pp. 17–18) comenta ser comum a discussão dessas duas naturezas de pesquisas como se fossem mutuamente exclusivas, contudo, ele afirma que:

Essa postura é inadequada, pois a ciência objetiva tanto o conhecimento em si mesmo quanto as contribuições práticas decorrentes desse conhecimento.

Uma pesquisa sobre problemas práticos pode conduzir à descoberta de princípios científicos. Da mesma forma, uma pesquisa pura pode fornecer conhecimentos passíveis de aplicação prática imediata.

De forma a alinhar este trabalho aos objetivos do programa de mestrado profissional do qual ele faz parte, a natureza da pesquisa em questão é de ordem prática, isto é, pesquisa aplicada com foco na solução de problemas concretos. Neste caso, a previsão de demanda de

passageiros para a análise econômico-financeira de empreendimentos de infraestrutura de transporte.

### **3.2.2 Classificação com relação aos objetivos gerais da pesquisa**

Uma outra forma usual de classificar as pesquisas é quanto a seus objetivos gerais. Gil (2002, pp. 41-42) apresenta os seguintes tipos de pesquisas: i) exploratória; ii) descritiva; e iii) explicativa. Analisando o objetivo geral deste trabalho, em função dos três tipos de pesquisas apresentados, pode-se afirmar se tratar de uma pesquisa do tipo descritiva, visto que, seu objetivo é relacionar as várias de entrada do modelo UTMS (variáveis independentes) com a variável dependente que é a demanda de passageiros.

Conforme Gil (2002, p. 42), a pesquisa descritiva tem seu principal objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno, podendo também ser utilizada com o intuito do estabelecimento de relações entre variáveis; utiliza técnicas padronizadas de coleta de dados e normalmente assume a forma de levantamento de campo. Observa ainda que:

Algumas pesquisas descritivas vão além da simples identificação da existência de relações entre variáveis, e pretendem determinar a natureza dessa relação. Nesse caso, tem-se uma pesquisa descritiva que se aproxima da explicativa. Há, porém, pesquisas que, embora definidas como descritivas com base em seus objetivos, acabam servindo mais para proporcionar uma nova visão do problema, o que as aproxima das pesquisas exploratórias.

### **3.2.3 Classificação com relação ao delineamento da pesquisa**

Segundo Gil (2002) para confrontar a visão teórica com os dados da realidade, é necessário a esquematização de um modelo conceitual e operativo da pesquisa, o que na literatura inglesa recebe o nome de *design* da pesquisa. Para Martins e Théóphilo (2009) o *design* da pesquisa envolve os aspectos técnicos da investigação, que corresponde ao planejamento e estruturação da pesquisa em sua dimensão mais ampla, compreendendo desde a diagramação até a previsão de coleta e análise dos dados, informações e evidência



encontrados. Traduções comuns na literatura para o termo *design*, no contexto da metodologia científica, são: i) desenho; ii) designo; iii) delineamento; iv) planejamento; e v) esboço; contudo, o termo mais comum é delineamento da pesquisa. (Martins & Theóphilo, 2009).

Martins e Theóphilo (2009, p. 53) comentam que na literatura o termo delineamento é utilizado muitas vezes quando se trata de pesquisas com planejamentos rígidos, tais como os das ciências naturais, assim, fazem a seguinte observação “Consideramos mais apropriado o uso da expressão estratégias de pesquisa para designar as diferentes maneiras de abordar e analisar dados empíricos no contexto das Ciências Sociais Aplicadas”. Já Gil (2002) não cita essa observação, mas se refere ao delineamento da pesquisa como procedimentos técnicos de coleta e análise de dados ou simplesmente procedimentos técnicos.

Este trabalho utiliza como fonte de dados para o treinamento, validação e testes do modelo neural os dados de fontes secundários de um levantamento de campo (*survey*), conhecido como Pesquisa O/D, sendo esses os dados de entrada da RNA; já como dados de saída da rede, são utilizados informações de entrada de passageiros de uma base de dados, isto é, também uma fonte secundária de informações. Esses dados foram divididos em três conjuntos para os treinamentos, testes e validações de várias arquiteturas de redes neurais que foram implementadas e testadas; essas arquiteturas foram obtidas variando o: i) número de variáveis de entradas do modelo; ii) número de camadas ocultas; iii) número de neurônios; iv) algoritmos de treinamentos. Ao final, as arquiteturas foram comparadas verificando os melhores resultados.

Com essas características, essa pesquisa apresenta a forma de delineamento de pesquisa do tipo *ex-post-facto*, definida por Kerlinger (1975 como citado em Gil, 2008, p. 54) como “uma investigação sistemática e empírica na qual o pesquisador não tem controle direto sobre as variáveis independentes, porque já ocorreram suas manifestações ou porque são intrinsecamente não manipuláveis”. Nesse caso são feitas inferências sobre a relação entre variáveis sem observação direta, a partir da variação concomitante entre as variáveis independentes e dependentes. (Gil, 2008).

### **3.2.4 Classificação com relação aos tipos de dados**

Os dados são todas as informações que o pesquisador dispõe nas diferentes etapas da

pesquisa. (Prodanov & Freitas, 2013). Para Fávero, Belfiore, Silva e Chan (2009, p. 4) “A análise de dados precisa ser entendida como um processo para se atingir um grupo de informações claras e objetivas, voltadas especificamente para uma melhor tomada de decisões”. As informações são os dados interpretados, que com uma nova interpretação se transformam em conhecimento. Os dados podem ser divididos em dois grupos, sendo eles: i) dados primários – que são coletados em sua fonte diretamente pelo pesquisador, normalmente, sem sofrer quaisquer tratamentos; e ii) dados secundários – são aqueles que já foram coletados, e encontram-se armazenados em fontes, tais como: bancos de dados; arquivos; relatórios; anuários estatísticos; entre outras; normalmente esses dados já passaram por algum tipo de tratamento. (Neto & Figueiredo, 2009; Prodanov & Freitas, 2013). Dependendo da natureza do dado, cabe uma nova classificação para pesquisa, segundo Fávero et al. (2009, p. 6) as variáveis podem ser classificadas como: métricas (quantitativas); ou não métricas (qualitativas), sendo que:

[...] as variáveis métricas são aquelas que possuem dados cujas medidas refletem uma quantidade relativa, uma nota, uma quantia ou certa magnitude, e podem ser subdivididas em escalas intervalares ou razão. Já as variáveis não métricas são aquelas que se referem a atributos ou características categóricas, como indicadores de preferência, presença ou ausência de determinada propriedade, e podem ser subdivididas em escalas nominais e ordinais.

Martins e Theóphilo (2009, p. 107) afirmam que:

As pesquisas quantitativas são aquelas em que os dados e as evidências coletadas podem ser quantificados, mensurados. Os dados são filtrados, organizados e tabulados, enfim, preparados para serem submetidos a técnicas e/ou testes estatísticos. A análise e interpretação se orientam através do entendimento e conceituação de técnicas e métodos estatísticos.

[...] em função do propósito de certas pesquisas e abordagens metodológicas empreendidas, os tipos de informações, dados e evidências obtidas não são passíveis de mensuração. Pedem descrições, compreensões, interpretações e análises de informações, fatos, ocorrências, evidências que naturalmente não são expressas por dados e números. [...] Têm-se aí as características de uma pesquisa qualitativa.

Conforme o objetivo geral deste trabalho, têm-se que as variáveis envolvidas, tanto de entrada como de saída da RNA, possuem características quantitativas, logo, esta será a abordagem deste trabalho. Contudo, a ponderação de Martins e Theóphilo (2009, p. 86), referente a dicotomia entre as modalidades de pesquisa quantitativa e qualitativa, deve ser observada:

Dependendo do objeto de estudo – características e natureza do tema sob

investigação –, o pesquisador-autor *[sic]* poderá dar mais ênfase à avaliação quantitativa, e assim procurará mensurar, ou medir, variáveis. Por outro lado, o enfoque da avaliação poderá ser qualitativo, e neste caso buscará descrever, compreender e explicar comportamentos, discursos e situações. Geralmente, os estudos comportam tanto a avaliação quantitativa quanto a avaliação qualitativa. É falsa a dicotomia entre pesquisa quantitativa e pesquisa qualitativa. [...] em função da natureza e objetivos da pesquisa, pode-se necessitar de diversas técnicas de coleta de informações, dados e evidências.

### 3.2.5 Classificação com relação ao instrumento de coleta de dados

Para conseguir os dados para o seu trabalho, o pesquisador necessita aplicar um instrumento de coleta de dados; para se chegar nele são necessários quatro passos: i) listar todas as variáveis que se pretende medir ou descrever; ii) rever o significado e a definição conceitual de todas as variáveis listadas; iii) rever como as variáveis listadas serão medidas ou descritas, isto é, como operacionalizar a coleta; e iv) selecionar uma técnica e iniciar a construção do instrumento. (Martins & Theóphilo, 2009).

Como este trabalho utiliza dados de fontes secundárias, o instrumento utilizado será a pesquisa bibliográfica, que tem semelhanças com a pesquisa documental, conforme Martins e Theóphilo (2009, p. 55) “A principal diferença entre elas decorre da natureza das fontes: a pesquisa bibliográfica utiliza fontes secundárias [...]. Por sua vez a pesquisa documental emprega fontes primárias”.

### 3.2.6 Quadro resumo da classificação da pesquisa

O Quadro 15 apresenta um resumo das várias classificações desta pesquisa que foram detalhadas neste capítulo.

Critério	Classificação	Justificativa
Natureza da Pesquisa	Pesquisa Aplicada	Alinhar a pesquisa como os objetivos do programa do MPA-GP
Objetivo da Pesquisa	Pesquisa Descritiva	Relacionar as várias de entrada do modelo UTMS com a variável demanda de passageiros

Critério	Classificação	Justificativa
Delineamento da Pesquisa (Técnica de Pesquisa, Estratégia de Pesquisa)	Pesquisa <i>Ex-post facto</i>	Relacionar variáveis cujos delineamentos são realizados após os fatos
Tipos de Dados	Dados Métricos	As medidas refletem quantidades que podem ser subdivididas em escalas intervalares ou razão
<b>Tipo de Fonte dos Dados</b>	Fontes Secundárias	Os dados foram obtidos da PMU-RMSP 2012 e do banco de dados de entradas de passageiros do metrô e do trem da RMSP
Abordagem da Pesquisa	Pesquisa Quantitativa	Os dados foram preparados para serem submetidos a técnicas e/ou testes estatísticos
Técnica de Coleta de Dados (Instrumento)	Levantamento bibliográfico	Obtidos de fontes secundárias

Quadro 15: Quadro resumo das classificações da pesquisa.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Conforme apresentado no item 3.2.3, este trabalho foi delineado conforme uma pesquisa do tipo *ex-post facto*, que segundo Martins e Theóphilo (2009, p. 59) “é a mais comum das investigações sobre o mundo das Ciências Sociais Aplicadas”. Conforme Gil (2002) o planejamento deste tipo de pesquisa aproxima-se do planejamento da pesquisa experimental, contudo, não é possível a manipulação de variáveis independentes como acontece na pesquisa experimental, o autor apresenta os seguintes passos para a execução do delineamento: i) formulação do problema; ii) construção das hipóteses; iii) operacionalização das variáveis; iv) localização dos grupos para investigação; v) coleta de dados; vi) análise e interpretação dos dados; vii) apresentação das conclusões.

#### 3.3.1 Localização dos grupos para a investigação

O grupo de investigação é formado pelas estações de metrô da cidade de São Paulo,

operadas pelas empresas Metrô-SP e ViaQuatro, e pelas estações de trem metropolitano, operadas pela CPTM, atendendo 22 municípios na RMSP. A quantidade de linhas e estações são apresentadas no Quadro 16.

Operadoras	Total de Estações	Linhas	Quantidade de Estações
Metrô-SP	61 Estações	Linha 1 – Azul	23
		Linha 2 – Verde	14
		Linha 3 – Vermelha	18
		Linha 5 – Lilas	6
ViaQuatro	6 estações	Linha 4 – Amarela	6
CPTM	100 estações	Linha 7 – Rubi	18
		Linha 8 – Diamante	22
		Linha 9 – Esmeralda	18
		Linha 10 – Turquesa	13
		Linha 11 – Coral	16
		Linha 12 – Safira	13

Quadro 16: Linhas e Estações de metrô e trem metropolitano.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

### 3.3.2 Coleta de dados

Neste trabalho utilizou-se dados de fontes secundários, isto é, o instrumento de coleta de dados é do tipo levantamento bibliográfico. As variáveis independentes foram coletadas da Pesquisa de Mobilidade Urbana da Região Metropolitana de São Paulo (PMU-RMSP), realizada em 2012. Já a variável dependente – que é a demanda de passageiros – foi coletada na base de dados de entrada de passageiros das estações pertencentes ao grupo de investigação.

#### 3.3.2.1 A pesquisa de Mobilidade Urbana

A pesquisa O/D é realizada pelo Metrô a cada dez anos; devido às mudanças nos

padrões de deslocamentos da metrópole nesse período, uma pesquisa de aferição é realizada 5 anos após a pesquisa O/D, essa pesquisa de aferição foi realizada em 2012 e recebeu o nome de Pesquisa de Mobilidade 2012. Essa pesquisa abrangeu toda a região metropolitana da cidade de São Paulo e foi composta por duas pesquisas: i) a domiciliar, onde entrevistas foram realizadas com questionário estruturado em amostra de domicílios selecionados por sorteio, investigando assim as características das viagens de moradores em dia útil anterior a pesquisa, e características socioeconômicas (viagens internas à RMSP); ii) a linha de contorno, que são contagens e entrevistas realizadas em pontos de acesso das rodovias à RMSP, investigando assim fluxos de viagens que entram, saem, ou cruzam a região (viagens externas à RMSP). O objetivo dessa pesquisa foi aferir os resultados da pesquisa O/D de 2007, que entrevistou 30.000 domicílios nas 460 zonas de tráfego de São Paulo. A pesquisa de aferição de 2012 entrevistou 8.115 domicílios em 31 zonas de tráfego, sendo essas entrevistas realizadas em dois períodos: agosto a dezembro de 2012; e março a abril de 2013. (Metrô, 2013c). A Figura 30 apresenta as 31 zonas de tráfego consideradas na pesquisa. O Quadro 17 detalha para cada uma das zonas, os distritos que pertencem a elas, no caso do município de São Paulo, e ainda os outros municípios pesquisados. O Anexo A apresenta o *layout* do banco de dados da PMU-RMSP 2012.

Entre o período das duas pesquisas (2007 – 2012), alguns indicadores socioeconômicos foram: i) a população cresceu 2%, totalizando 20,0 milhões em 2012; ii) os empregos cresceram 8%, totalizando 9,8 milhões em 2012; iii) as matrículas escolares cresceram 2%, totalizando 5,4 milhões em 2012; iv) a frota de veículos particulares cresceu 18%, totalizando 4,2 milhões em 2012. No mesmo período, as viagens diárias cresceram 18%, totalizando 43,7 milhões de viagens diárias na RMSP por todos os modos de transportes pesquisados, sendo que, deste total 29,7 milhões de viagens são realizadas por modos motorizados e 14,0 milhões por modos não motorizados. As viagens por modo motorizado cresceram 18%, enquanto as não motorizados cresceram 8%. Já as viagens por modo coletivo cresceram 16% e por modo individual 21%. A divisão modal entre os modos coletivos e individual permaneceu praticamente constante, sendo respectivamente, 54% e 46%. Na ocasião da primeira pesquisa O/D, realizada em 1967, as viagens por modo coletivo representavam 68% do total de viagens motorizadas, no decorrer dos anos esse percentual foi diminuído, sendo que, em 2002 o modo individual ultrapassou o coletivo, no em tando em 2007 o modo coletivo voltou a ser maior, atingindo os mesmos percentuais de 2012. (Metrô,

2013c). O banco de dados com os dados da PMU-RMSP de 2012 está disponível livremente no site do Metrô<sup>6</sup> nos formatos do SPSS e DBF.

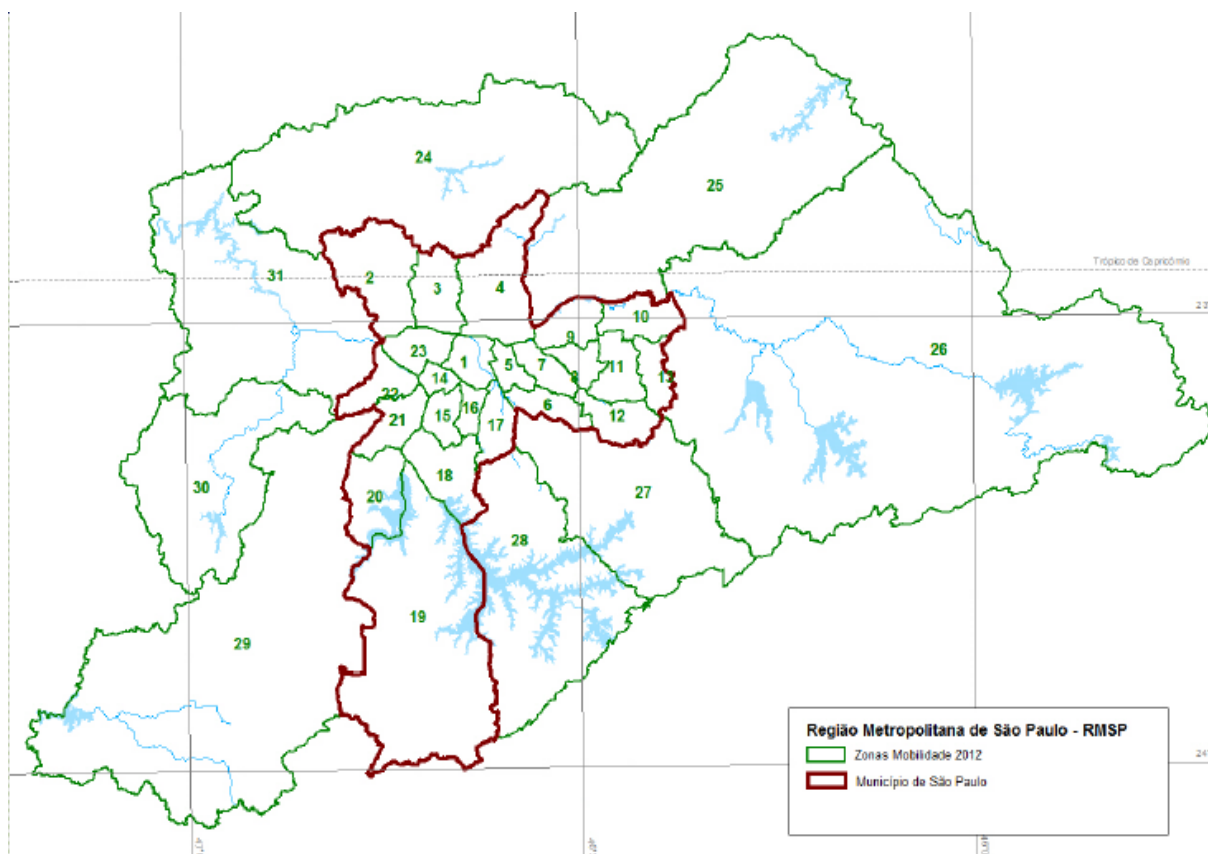


Figura 30: 31 zonas de tráfego da Pesquisa de Mobilidade 2012.

Fonte: Metrô (2013b).

Zona	Distritos do Município de São Paulo e demais municípios da RMSP
1	São Paulo – Bela Vista, Bom Retiro, Brás, Cambuci, Consolação, Liberdade, Pari, República, Santa Cecília e Sé
2	São Paulo – Anhanguera, Jaguará, Jaraguá, Perus, Pirituba e São Domingos
3	São Paulo – Brasilândia, Cachoeirinha, Casa Verde, Freguesia do Ó e Limão
4	São Paulo – Jaçanã, Mandaqui, Santana, Tremembé, Tucuruvi, Vila Guilherme, Vila Maria e Vila Medeiros
5	São Paulo – Água Rasa, Belém e Mooca
6	São Paulo – São Lucas, Sapopemba e Vila Prudente
7	São Paulo – Aricanduva, Carrão, Tatuapé e Vila Formosa
8	São Paulo – Artur Alvim, Cidade Líder e Vila Matilde
9	São Paulo – Cangaíba, Ermelino Matarazzo, Penha e Ponte Rasa

<sup>6</sup> <http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/pesquisa-mobilidade-urbana-2012.aspx>, acessado em 02/06/2014

Zona	Distritos do Município de São Paulo e demais municípios da RMSP
10	São Paulo – Itaim Paulista, Jardim Helena, São Miguel, Vila Curuçá e Vila Jacuí
11	São Paulo – Itaquera, José Bonifácio e Parque do Carmo
12	São Paulo – Iguatemi, São Mateus e São Rafael
13	São Paulo – Cidade Tiradentes, Guaianases e Lajeado
14	São Paulo – Jardim Paulista e Pinheiros
15	São Paulo – Campo Belo, Itaim Bibi e Moema
16	São Paulo – Saúde e Vila Mariana
17	São Paulo – Cursino, Ipiranga e Sacomã
18	São Paulo – Campo Grande, Cidade Ademar, Jabaquara, Pedreira e Santo Amaro
19	São Paulo – Cidade Dutra, Grajaú, Marsilac, Parelheiros e Socorro
20	São Paulo – Capão Redondo, Jardim Ângela e Jardim São Luís
21	São Paulo – Campo Limpo, Morumbi, Vila Andrade e Vila Sônia
22	São Paulo – Butantã, Jaguaré, Raposo Tavares e Rio Pequeno
23	São Paulo – Alto de Pinheiros, Barra Funda, Lapa, Perdizes e Vila Leopoldina
24	Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã
25	Arujá, Guarulhos e Santa Isabel
26	Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis e Suzano
27	Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André e São Caetano do Sul
28	Diadema e São Bernardo do Campo
29	Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra e Taboão da Serra
30	Cotia e Vargem Grande Paulista
31	Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba

Quadro 17: Distritos e Municípios por zona.

Fonte: Adaptado pelo autor de Metrô (2013b)

### 3.3.2.2 Variáveis independentes

Como entradas do modelo neural foram utilizados quatro variáveis independentes; todas elas extraídas da base de dados da PMU-RMSP de 2012, e sempre relacionadas com a zona de tráfego em questão; sendo elas:



- (a) A população;
- (b) O número de matrículas escolares;
- (c) O número de empregos; e
- (d) A renda per capita.

A justificativa para a escolha destas variáveis, em detrimento de tantas outras presentes na PMU-RMSP de 2012, deu-se pelo fato da demanda por transportes ser derivada das atividades desenvolvidas pela população da região em questão, conforme relatado na literatura e evidenciado na própria PMU-RMSP de 2012, conforme a Figura 31, onde se observa que os principais motivos para as viagens na RMSP são as atividades de trabalho (número de empregos) e educação (número de matrículas).

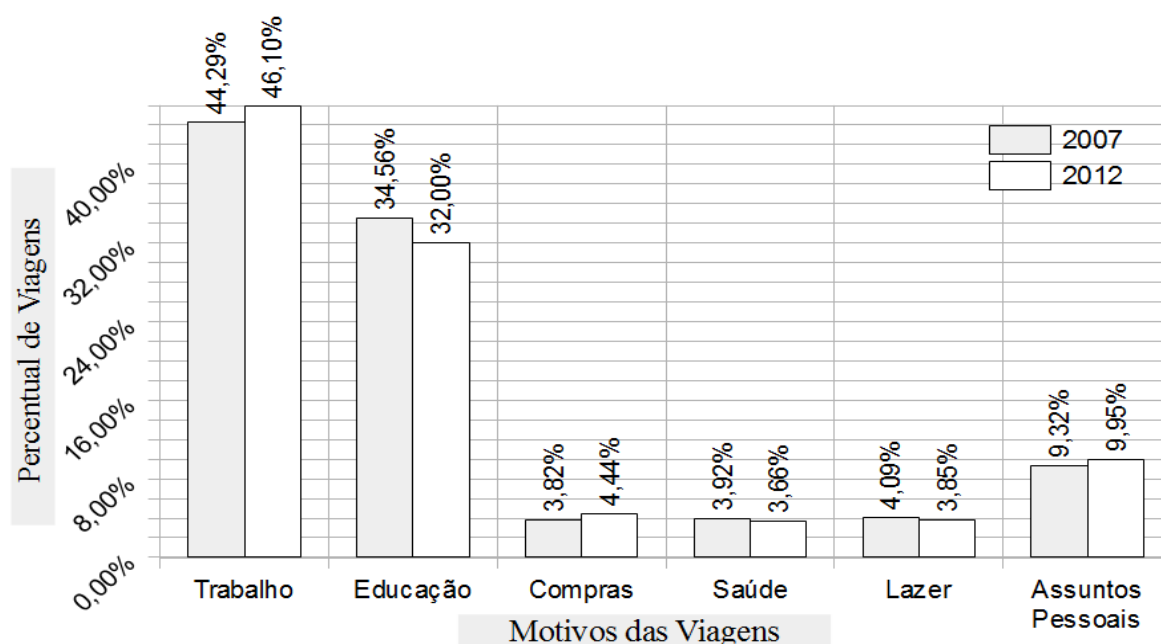


Figura 31: Percentual de viagens diárias na RMSP em função dos motivos nos anos de 2007 e 2012.

Fonte: Adaptado pelo autor de Metrô (2013b).

O número de matrículas foi captado na pesquisa na variável ESTUDA (id 46) com a pergunta “Estuda Atualmente?”; já o número de empregos foi na variável CD\_ATIVI (Id 48) com a pergunta “Condição de Atividade”, conforme layout do bando de dados apresentado no ANEXO A.

A utilização da variável independente renda per capita é justificada pelo achado da PMU-RMSP de 2012; que relaciona a renda da população com a utilização do transporte coletivo, conforme apresentado na Tabela 1, onde se observa que a utilização de transporte

público é inversamente proporcional a renda da população.

Tabela 1: Percentual de viagens/dia por modo e renda.

<b>Renda [R\$] (Base out/2012)</b>	<b>Uso Transporte Coletivo</b>	<b>Uso Transporte Individual</b>
Até 1.244	74,8%	25,2%
1.244 a 2.488	69,6%	30,4%
2.488 a 4.976	51,1%	48,9%
4.976 a 9.330	34,2%	65,8%
Mais de 9.330	24,1%	75,9%

Fonte: Adaptado pelo autor de Metrô (2013b).

### 3.3.2.3 Variável dependente

Como variável dependente temos a demanda de passageiros. Seus valores foram obtidos da base de dados de entrada de passageiros que foi solicitada aos operadores dos sistemas de transportes considerando os períodos em que a pesquisa PMU-RMSP de 2012 foi realizada. Foram solicitados dados de entradas de todas as estações que fazem parte do grupo de investigação.

Como em muitas zonas de tráfego há mais de uma estação de metrô e/ou de trem, foi levantado – com auxílio do software Google Earth Pro – a quantidade de estações de trem e metrô em cada uma das zonas de tráfego. Na sequência, foram somados as quantidades de entradas de passageiros em cada uma das estações nas suas respectivas zonas, obtendo como resultado a entrada de passageiros por zona de tráfego. Em vários casos, algumas estações estão situadas na divisa entre duas e até três zonas de tráfego. Nesses casos, o número de entradas de passageiros foi dividido igualmente entre as zonas envolvidas.

Para selecionar os dados na base de dados, foram utilizados comando SQL para filtrar os valores de interesse. Por exemplo, para verificar o período da coleta de dados de cada uma das 31 zonas, foram utilizados, para cada uma das zonas, o seguinte comando SQL, personalizado no caso para a zona 1: *“select DATA from Mobilidade\_2012\_v0 where (ZONA='1') ORDER BY DATA ASC”*. A Tabela 2 apresenta, para cada uma das 31 zonas, a sua população – segundo a PMU-RMSP 2012 – a quantidade de registros, que equivale ao número de entrevistados na pesquisa, o percentual de entrevistados em relação à população, o período

em que ocorreu a pesquisa e o número de registros encontrados na base de dados que não condizem com o período em que a pesquisa foi realizada; esse campo foi nomeado na tabela como “registros indevidos”, e em todos os casos a data encontrada foi 30/12/99.

Tabela 2: População, amostras e períodos da PMU-RMSP em cada uma das zonas de tráfego

<b>Zona</b>	<b>População</b>	<b>Quantidade de Registros</b>	<b>% Amostras</b>	<b>Período da Pesquisa</b>	<b>Registros Indevidos</b>
1	486.535	1802	0,37%	09/03/12 ~ 17/12/12	4
2	622.367	1421	0,23%	05/03/12 ~ 18/12/12	-----
3	720.300	1506	0,21%	12/03/12 ~ 13/12/12	-----
4	918.589	1693	0,18%	23/01/12 ~ 18/12/12	4
5	207.586	1758	0,85%	12/03/12 ~ 17/12/12	2
6	532.810	1446	0,27%	08/08/12 ~ 17/12/12	8
7	359.980	1880	0,52%	08/03/12 ~ 17/12/12	7
8	337.849	1861	0,55%	08/08/12 ~ 28/11/12	3
9	472.896	2186	0,46%	07/08/12 ~ 17/12/12	2
10	745.207	1387	0,19%	29/08/12 ~ 17/12/12	9
11	402.523	1657	0,41%	03/09/12 ~ 19/12/12	30
12	435.017	2218	0,51%	09/03/12 ~ 20/12/12	6
13	488.337	1457	0,30%	15/09/12 ~ 19/12/12	-----
14	154.857	1818	1,17%	29/02/12 ~ 12/12/12	-----
15	244.232	1867	0,76%	05/03/12 ~ 19/12/12	-----
16	262.776	1354	0,52%	16/03/12 ~ 18/12/12	1
17	470.084	1774	0,38%	08/03/12 ~ 18/12/12	-----
18	819.015	1792	0,22%	15/03/12 ~ 16/12/12	-----
19	746.445	1612	0,22%	08/03/12 ~ 01/12/12	9
20	853.741	1506	0,18%	05/03/12 ~ 17/12/12	16
21	511.038	1393	0,27%	08/03/12 ~ 16/12/12	-----
22	326.852	2347	0,72%	06/03/12 ~ 17/12/12	7
23	276.781	1803	0,65%	02/03/12 ~ 18/12/12	12
24	536.238	1622	0,30%	12/03/12 ~ 20/12/12	-----
25	1.380.288	1862	0,13%	14/10/12 ~ 18/12/12	-----
26	1.352.224	2335	0,17%	06/10/12 ~ 19/12/12	8
27	1.416.914	1667	0,12%	08/03/12 ~ 16/12/12	4

Zona	População	Quantidade de Registros	% Amostras	Período da Pesquisa	Registros Indevidos
28	1.167.233	1596	0,14%	12/03/12 ~ 15/12/12	-----
29	763.800	2199	0,29%	10/09/12 ~ 15/12/12	1
30	256.370	1077	0,42%	16/03/12 ~ 16/12/12	-----
31	1.742.819	1613	0,09%	13/03/12 ~ 19/12/12	-----
Total Registros		53506			

Fonte: Adaptado pelo autor da base de dados do Metrô (2013b).

Os Quadros 18 ao 42 apresentam as estações de cada uma das linhas que pertencem a cada uma das zonas de tráfego e o total de entrada de passageiros por zona de tráfego. Nesses quadros, o número entre parênteses sobrescrito ao lado do nome da estação indica que ela pertence também há uma outra zona de tráfego, sendo esse número a outra zona envolvida. As zonas 3, 12, 25, 28, 29 e 30 não possuem nenhuma estação de metrô ou de trem, portanto, não foram consideradas nesta pesquisa.

Linhas	Estações	
1	Vergueiro, São Joaquim, Liberdade, Sé, São Bento, Luz, Tiradentes e Armênia	
2	Brigadeiro <sup>(16)</sup> , Trianon Masp <sup>(14)</sup> , Clínicas <sup>(14)</sup> e consolação <sup>(14)</sup>	
3	Deodoro, Santa Cecília, República, Anhangabaú, Sé, Pedro II, Brás <sup>(5)</sup> e Bresser <sup>(5)</sup>	
4	Paulista, Luz e Republica	
7	Luz	
8	Júlio Prestes	
10	Brás <sup>(5)</sup> e Moóca <sup>(1)</sup>	
11	Luz e Brás <sup>(5)</sup>	
12	Brás <sup>(5)</sup>	
Total de Entrada de Passageiros		1.664.779

Quadro 18: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 1

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
7	Piqueri, Pirituba, Vila Clarice, Jaraguá, Vila Aurora e Perus
Total de Entrada de Passageiros	
59.182	

Quadro 19: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 2.

Obs.: A Estação Vila Aurora está nesta zona, mas foi inaugurada somente em setembro de 2013. Assim, nenhuma entrada foi computada para essa estação.

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
1	Tietê, Carandiru, Santana, Jardim SP, Parada Inglesa e Tucuruvi
Total de Entrada de Passageiros	
239.172	

Quadro 20: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 4

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
3	Belém, Brás <sup>(1)</sup> e Bresser <sup>(1)</sup>	
10	Ipiranga <sup>(6, 17)</sup> e Moóca <sup>(1)</sup>	
Total de Entrada de Passageiros		128.081

Quadro 21: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 5

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
2	Tamanduateí <sup>(17)</sup> e Vila Prudente	
10	Ipiranga <sup>(5, 17)</sup> e Tamanduateí <sup>(17)</sup>	
Total de Entrada de Passageiros		94.309

Quadro 22: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 6

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
3	Tatuapé e Carrão	
11	Tatuapé	
12	Tatuapé	
Total de Entrada de Passageiros		171.026

Quadro 23: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 7

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
3	Penha <sup>(9)</sup> , Matilde <sup>(9)</sup> , Guilhermina <sup>(9)</sup> , Patriarca <sup>(9)</sup> e Artur Alvim
Total de Entrada de Passageiros	
133.286	

Quadro 24: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 8

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
3	Penha <sup>(8)</sup> , Vila Matilde <sup>(8)</sup> , Guilhermina <sup>(8)</sup> e Patriarca <sup>(8)</sup>	
12	Eng.º Goulart, USP Leste e Comendador Ermelino	
Total de Entrada de Passageiros		87.972

Quadro 25: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 9

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
12	S. Miguel, J. Helena, Itaim Paulista e J. Romano
Total de Entrada de Passageiros	
71.948	

Quadro 26: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 10

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
3	Itaquera	
11	Itaquera, Dom Bosco e José Bonifácio	
Total de Entrada de Passageiros		155.792

Quadro 27: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 11

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Fonte: Desenvolvida pelo autor baseada em Meiro (2015b).	
Linhas	Estações
11	Guaianazes
Total de Entrada de Passageiros	76.630

Quadro 28: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 13

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
2	Vila Madalena <sup>(23)</sup> , Clinicas <sup>(1)</sup> , Sumaré <sup>(23)</sup> , Consolação <sup>(1)</sup> e Trianon Masp <sup>(1)</sup>
4	Pinheiros e Faria Lima
9	Pinheiros, Hebraica <sup>(21)</sup> e Cidade Jardim <sup>(21)</sup>
Total de Entrada de Passageiros	
440.961	

Quadro 29: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 14

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
9	Vila Olímpia <sup>(21)</sup> e Berrini <sup>(21)</sup>
Total de Entrada de Passageiros	
27.227	

Quadro 30: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 15

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
1	S Judas, Saúde, Árvore, Sta Cruz, Mariana, Ana Rosa e Paraíso	
2	Klabin, Brigadeiro <sup>(1)</sup> , Ana Rosa e Paraíso	
Total de Entrada de Passageiros		301.127

Quadro 31: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 16

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
2	Imigrantes, Alto Ipiranga, Sacomã e Tamanduateí <sup>(6)</sup>	
10	Ipiranga <sup>(5,6)</sup> e Tamanduateí <sup>(6)</sup>	
Total de Entrada de Passageiros		124.300

Quadro 32: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 17

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
1	Conceição e Jabaquara	
5	Sto. Amaro <sup>(19, 20)</sup> e Largo Treze	
9	Morumbi <sup>(21)</sup> , Granja Julieta <sup>(21)</sup> , Sto. Amaro <sup>(19, 20)</sup> , Socorro <sup>(19)</sup> e Jurubatuba <sup>(19)</sup>	
Total de Entrada de Passageiros		260.445

Quadro 33: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 18

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
5	Sto. Amaro <sup>(18, 20)</sup>	
9	Sto. Amaro <sup>(18, 20)</sup> , Socorro <sup>(18)</sup> , Jurubatuba <sup>(18)</sup> , Autódromo, Interlagos e Grajaú	
Total de Entrada de Passageiros		149.338

Quadro 34: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 19

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
5	Capão Redondo, Giovani, Sto. Amaro <sup>(18, 19)</sup> e Campo Limpo <sup>(21)</sup>	
9	Sto. Amaro <sup>(18, 19)</sup>	
Total de Entrada de Passageiros		167.333

Quadro 35: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 20

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
5	Campo Limpo <sup>(20)</sup> e Vila das Belezas
9	Hebraica <sup>(14)</sup> , C. Jardim <sup>(14)</sup> , V. Olimpia <sup>(15)</sup> , Berrini <sup>(15)</sup> , Morumbi <sup>(18)</sup> e Granja Julieta <sup>(18)</sup>
Total de Entrada de Passageiros	
93.301	

Quadro 36: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 21

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
4	Butantã
9	Pinheiros <sup>(14)</sup> , Cidade Universitária <sup>(23)</sup> , V. Jaguaré <sup>(23)</sup> e Ceasa <sup>(23)</sup>
Total de Entrada de Passageiros	
192.888	

Quadro 37: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 22

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
2	Sumaré <sup>(14)</sup> e Vila Madalena <sup>(14)</sup>
3	Barra Funda
7	Lapa, Agua Branca e Barra Funda
8	Leopoldina, D Moraes, Lapa e Barra Funda
9	Cidade Universitária <sup>(22)</sup> , VL Jaguaré <sup>(22)</sup> e Ceasa <sup>(22)</sup>
Total de Entrada de Passageiros	
470.191	

Quadro 38: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 23

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações
7	Caieiras, Franco da Rocha, Baltazar Fidelis e Francisco Morato
Total de Entrada de Passageiros	
78.825	

Quadro 39: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 24

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
11	A Gianete, Ferraz Vasconcelos, Poa, Calmon, Suzano, Jundiapéba, Brás Cubas, Mogi e Estudantes	
12	Manoel Feio, Itaquaquecetuba, Aracaré e Calmon	
Total de Entrada de Passageiros		155.652

Quadro 40: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 26

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).



Linhas	Estações
10	São Caetano, Utinga, Pref. Saladino, Pref. Celso Daniel, Capuava, Mauá, Guapituba, Ribeirão Pires e Rio Grande Serra
Total de Entrada de Passageiros	
189.167	

Quadro 41: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 27

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Linhas	Estações	
8	Pres. Altino, Osasco, Com Sampaio, Quitaúna, Gen Miguel Costa, Carapicuíba, S Terezinha, Antonio João, Barueiri, J. Belval, J. Silveira, Jandira, Sagrado Coração, Eng. Cardoso, Itapevi	
9	Pres. Altino	
Total de Entrada de Passageiros		195.273

Quadro 42: Estações por linhas pertencentes à zona de tráfego 31

Fonte: Desenvolvido pelo autor baseado em Metrô (2013b).

Esses dados – variáveis independentes e dependentes – foram divididos em três conjuntos para o treinamento, testes e validação do modelo de previsão por RNA.

### 3.3.3 Análise e interpretação dos dados

Esta seção descreve os passos que foram adotados para a configuração das topologias das RNAs utilizadas, bem como os procedimentos utilizados para: i) o pré-processamento dos dados; ii) o treinamento, a validação e os testes da rede; iii) o pós-processamento dos dados; e iv) a análise e interpretação dos resultados obtidos.

Todos os passos e procedimentos foram executados no software Scilab versão 5.4.1, que é uma ferramenta de computação numérica para aplicações de engenharia e científicas que roda em várias plataformas computacionais. Essa ferramenta é gratuito e de código aberto (*free and open source*) licenciada sob a licença CeCILL (GPL compatível). (Villamagna, 2013). Também foi utilizado um *toolbox*, programa complementar que habilita o Scilab a trabalhar com RNA, no caso o ANN Toolbox ver. 0.4.2.5, desenvolvido por Hristev (1998), esse *toolbox* também é gratuito.

### 3.3.3.1 Pré-processamento dos dados

O pré-processamento de dados envolveu duas atividades, sendo elas: i) a normalização dos dados; e ii) o reagrupamento dos dados de forma a gerar os grupos de dados de treinamento, de testes e de validação.

Inicialmente todos os dados foram normalizados conforme proposto por Valença (2009 como citado em Lourencetti, 2011, p. 58); a normalização foi realizada conforme a Fórmula 3. Desta forma, todos os valores máximo e mínimo, para cada uma das variáveis de entrada e para a variável de saída, foram determinados e calculados os respectivos valores normalizados, assim, todos os dados ficam entre 0,1 a 0,9.

$$Valor_{normalizado} = (b - a) \frac{Valor - Valor_{Min}}{Valor_{Max} - Valor_{Min}} + a \quad (3)$$

Nos quais:

$Valor_{normalizado}$  = resultado do valor normalizado;

$Valor$  = valor real da variável que será normalizado;

$Valor_{Min}$  = valor mínimo da série de valores;

$Valor_{Max}$  = valor máximo da série de valores;

$a$  = valor mínimo adotado para a normalização dos dados = 0,1; e

$b$  = valor máximo adotado para a normalização dos dados = 0,9.

O conjunto de dados foi reagrupado para formar os grupos de dados de treinamento, de testes e de validação; o procedimento em questão seguiu basicamente o que foi realizado no trabalho de Raia (2000). O conjunto de dados das zonas de tráfego envolvidas foram divididos, de forma aleatória, em três diferentes grupos, sendo eles: i) grupo de treinamento, igual a 50% dos dados; ii) grupo de testes, igual a 25% dos dados; e iii) grupo de validação, formado pelo restante dos dados. Esta divisão foi realizada três vezes, de maneira distinta para cada um dos grupos considerados, gerando assim três grupos distintos de dados, possibilitando três opções de treinamento, teste e validação.

### 3.3.3.2 Configuração das RNAs

Segundo Yao (1997 como citado em Bittencout e Zárate, 2011, p. 2461) existem três pontos importantes na concepção de uma RNA, sendo eles, a definição: i) do número de camadas escondidas; ii) da quantidade de neurônios em cada uma das camadas escondidas; e iii) da função de ativação utilizada. Nagai (2006) afirma que os dois primeiros pontos determinam a complexidade do modelo neural e que não há regras determinadas para a especificação desses pontos.

Com relação às definições do número de camadas escondidas e da quantidade de neurônios em cada uma dessas camadas, Kovács (2002) apresenta uma reformulação do teorema de Kolmogorov adaptado às RNA, afirmando que sempre uma RNA com três camadas – isto é, uma camada de entrada, uma de saída e uma escondida (oculta) - pode implementar de forma exata uma função contínua. Dessa forma, RNA com uma camada escondida atenderiam a aplicação deste trabalho. Contudo, a fim de propiciar maiores comparações, foram propostos neste trabalho topologias com uma e duas camadas escondidas.

Com relação à quantidade de neurônios (nodos) nas camadas escondidas, conforme afirma Nagai (2006) não há regras determinadas para a sua especificação; sendo utilizado assim o método de tentativa e erro. Contudo existem algumas regras heurísticas que podem ser utilizadas como ponto de partida para a determinação da quantidade de neurônios, isto quando a RNA possuir apenas uma camada oculta, sendo essas regras apresentadas nas Fórmulas 4, 5, e 6. (Freiman, 2004, p. 54).

$$q = \frac{E + S}{2} \quad (4)$$

$$q = 2.E + 1 \quad (5)$$

$$q = \sqrt{E \cdot S} \quad (6)$$

Nos quais:

q = número de neurônios;

E = número de entradas da rede neural;

$S$  = número de saídas da rede neural.

Assim, foram utilizadas as regras heurísticas apresentadas para a determinação do número de neurônios da primeira camada escondida, e o método de tentativa e erro para a determinação do número de neurônios da segunda camada escondida, obtendo assim diversas arquiteturas de RNA, possibilitando suas comparações de forma a identificar qual delas apresentam os melhores resultados.

Conforme apresentado nos itens 3.3.2.2 e 3.3.2.3 o modelo neural proposto apresenta quatro variáveis independentes e uma variável dependente. Portando, conforme as Fórmulas 4, 5, e 6, o nº de neurônios da primeira camada oculta são, respectivamente, 3, 9 e 2 neurônios. Foi utilizado também o nº médio de neurônios, isto é, 5 neurônios  $[(3+9+2)/3]$ . Nas arquiteturas com duas camadas ocultas, foi adotado dois critérios para a adoção do nº de neurônios dessas camadas, sendo o primeiro a metade do nº de neurônio da primeira camada e o segundo com o dobro. Em todos os cálculos do nº de neurônios, o critério de arredondamento foi sempre para cima.

Assim, foram treinados, testados e validados 12 arquiteturas de RNA. Abaixo são apresentados essas arquiteturas com a notação utilizada na área de redes neurais. Por exemplo, a arquitetura 01 – Arq-01, possui 4 entradas, 1 saída e uma camada oculta com 3 neurônios; já a arquitetura 12 – Arq-12, possui 4 entradas, 1 saída e duas camadas ocultas, sendo a primeira com 5 neurônios e a segunda com 10.

- (a) Arq-01:  $N = 4, 3, 1$ ;
- (b) Arq-02:  $N = 4, 9, 1$ ;
- (c) Arq-03:  $N = 4, 2, 1$ ;
- (d) Arq-04:  $N = 4, 5, 1$ ;
- (e) Arq-05:  $N = 4, 3, 2, 1$ ;
- (f) Arq-06:  $N = 4, 9, 5, 1$ ;
- (g) Arq-07:  $N = 4, 2, 1, 1$ ;
- (h) Arq-08:  $N = 4, 5, 3, 1$ ;
- (i) Arq-09:  $N = 4, 3, 6, 1$ ;
- (j) Arq-10:  $N = 4, 9, 18, 1$ ;
- (k) Arq-11:  $N = 4, 2, 4, 1$ ;
- (l) Arq-12:  $N = 4, 5, 10, 1$ .

Todas as redes utilizadas são do tipo perceptron de múltiplas camadas, isto é, *multilayer perceptron* (MLP), visto sua capacidade de: com uma camada oculta aproximar qualquer função contínua; e com duas camadas ocultas aproximar qualquer função matemática. (Braga et al., 2000).

A função de ativação escolhida foi a do tipo *Sigmoidal*, visto que, essa função fornece uma saída entre 0 e 1, comportando assim o intervalo dos dados normalizados neste trabalho, que são entre 0,1 e 0,9. Segundo Braga et al. (2000) as funções *Sigmoidal* são encontradas na construção de diversos modelos nas mais variadas áreas, sendo que uma das funções *Sigmoidais* mais importante é a função logística, apresentada na Figura 32 e definida pela Fórmula 7.

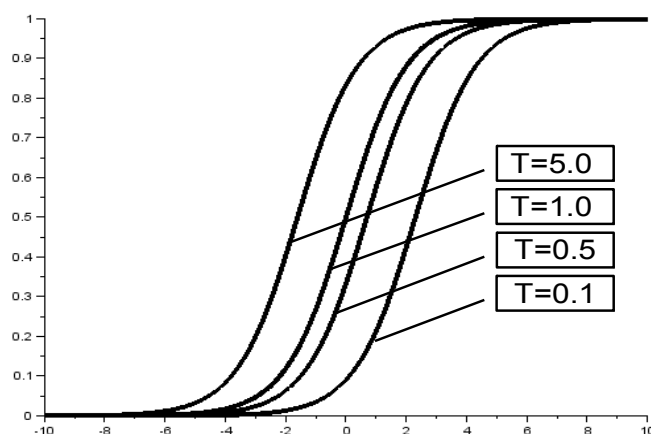


Figura 32: Função logística com vários fatores de suavização.

Fonte: Autor.

$$y = \frac{1}{1 + \varepsilon^{-x/T}} \quad (7)$$

Nos quais:

T = fator de suavidade da curva; e

$\varepsilon$  = constante de Euler  $\approx 2,718$ .

### 3.3.3.3 Treinamento, teste e validação da RNA

O algoritmo de aprendizado utilizado para o treinamento de todas as RNA foi o *back-propagation*, uma vez que ele é o algoritmo normalmente utilizado nas redes MLP. (Braga et al., 2000; Aguiar, 2004). Esse algoritmo é do tipo supervisionado e utiliza pares de valores (entradas, saídas desejadas) que, por meio de um mecanismo de correção de erros, ajusta os pesos da rede. O treinamento ocorre em duas fases, conhecidas como fase *forward* e fase *backward*, sendo a primeira utilizada para definir a saída da rede em função de um dado de entrada, e a segunda utiliza a saída desejada, que é a apresentada à rede, e a saída fornecida pela rede de forma a atualizar os pesos das conexões. (Braga et al., 2000).

No processo de treinamento da RNA, dois parâmetros importantes do algoritmo de aprendizado são: i) a taxa de aprendizagem (*learning rate*), que representa a suavidade da atualização dos pesos da rede; e ii) o termo momento (*momentum*) que tem a função de, se necessário, acelerar o treinamento da rede. (Raia, 2000). Com relação a taxa de aprendizagem, se forem utilizados valores muito pequenos (próximos a zero), o treinamento da rede será muito lento, em contrapartida, se os valores forem muito altos (próximo a um), poderão provocar divergências no processo de treinamento. (Haykin, 2001). Assim, neste trabalho, foram testados para todas as redes os seguintes valores para a taxa de aprendizagem: 0,01; 0,5; e 0,9. Já para o termo momento, foram testados os seguintes valores: 0,5; e 0,9.

Como critérios de parada para o treinamento foram adotados a tolerância do erro e o número de épocas. A tolerância do erro adotada foi de 0,0001 e o número de épocas foi de 10.000 iterações. Em cada um dos treinamentos e testes das RNA também foram medidos o tempo de máquina (CPU) e o tempo em segundos, possibilitando assim comparações entre as arquiteturas utilizadas.

Para todas as arquiteturas de RNA definidas, os três conjuntos de dados foram aplicados, verificando qual o melhor resultado alcançado, identificando assim a melhor arquitetura, que foi a que possui o menor erro quadrático médio (EQM) na etapa de validação, conforme a Fórmula 8. Onde N é o número de padrões apresentados.

Da mesma forma que Raia (2000), uma vez definido a melhor arquitetura da RNA a relevância de cada variável de entrada do modelo foi analisada por meio do método proposto

por Garson<sup>7</sup>. Uma vez identificadas as variáveis relevantes, uma nova rede foi treinada, testada e validada considerando-se apenas estas variáveis como entrada.

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Demanda_{Real} - Demanda_{Prevista})^2 \quad (8)$$

Nos quais:

EQM = erro quadrático médio;

N = quantidade de dados;

Demanda<sub>Real</sub> = valor da demanda real de entrada de passageiros, obtido da base de dados das concessionárias; e

Demanda<sub>Prevista</sub> = valor previsto da demanda de passageiros, a saída da RNA.

### 3.3.4 Matriz de Amarração Metodológica

O Quadro 43 apresenta a matriz de amarração metodológica, também conhecida como Matriz de Mazzon, da pesquisa em questão; segundo Telles (2001, p. 65) “essa ferramenta fornece uma abordagem sistêmica para o exame da qualidade da pesquisa, entendida como a adequação entre modelo adotado, objetivos a serem atingidos, questões ou hipóteses formuladas e tratamento dos dados”.

---

<sup>7</sup> Garson, D. G. (1991). Interpreting neural-network connection weights. *Ai Expert*, April. p. 47-51 apud Nath et al. (1997)

Modelo de Pesquisa	Objetivos da Pesquisa	Questão de Pesquisa	Delineamento/ Instrumento ou Análise de dados
Compreensão do processo de planejamento antecipado do projeto em empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos	Identificar as atividades na fase de planejamento antecipado de projetos de empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos	Como a aplicação de um modelo teórico de previsão de demanda baseado em RNA, utilizando como entradas as variáveis do modelo UTMS, pode contribuir para a gestão de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos?	Pesquisa Bibliográfica/L evantamento bibliográfico
Identificação das fontes e bases de dados para previsão de demanda	Identificar as variáveis de entrada que influenciem a demanda de passageiros em empreendimentos de transporte sobre trilhos		Pesquisa Bibliográfica/L evantamento bibliográfico
Identificação das arquiteturas e algoritmos de treinamento	Identificar arquiteturas e algoritmos de treinamento de RNA para a previsão de demanda		Pesquisa Bibliográfica/L evantamento bibliográfico
Elaboração/ proposta de um modelo de previsão neural	Montar, treinar e validar uma RNA para prever a demanda de passageiros em um empreendimento de transporte sobre trilhos		Pesquisa <i>Ex-post-Facto</i> / Redes Neurais Artificiais

Quadro 43: Matriz de amarração metodológica (Matriz de Mazzon)

Fonte: Desenvolvido pelo autor.



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho; ele foi executado conforme o procedimento metodológico apresentado no Capítulo 3, e faz a ligação com o problema principal de pesquisa, apresentado no Capítulo 1, e o referencial teórico, desenvolvido no Capítulo 2.

### 4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

Conforme apresentado no item 3.3.3.1, o pré-processamento dos dados envolve as etapas de normalização e reagrupamento dos dados. Para realização destas etapas foi desenvolvido o *script* Geradados.sce no SciLab, o Apêndice A apresenta esse *script*. Ele foi executado apenas uma vez, e os resultados foram salvos em um formato proprietário (DadosMSc.sod) deste software de forma que sempre foi possível o resgate desses dados.

#### 4.1.1 Normalização dos Dados

As Tabelas 3 e 4 apresentam o conjunto de dados normalizado conforme a Fórmula 3. A sequência dos dados apresentados nessas tabelas são: i) zona de tráfego; ii) população; iii) matrículas escolares; iv) empregos; v) renda per capita; e vi) demanda de passageiros.

Conforme definido no critério de normalização, o menor valor de cada variável é normalizado no valor 0,100 e o maior no valor 0,900.

Tabela 3: Dados normalizados das zonas de tráfego 1 até 15.

Zonas de tráfego												
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
0,267	0,336	0,485	0,127	0,290	0,203	0,192	0,260	0,397	0,225	0,268	0,100	0,145
0,593	0,310	0,418	0,151	0,201	0,259	0,162	0,232	0,431	0,208	0,234	0,100	0,147
0,900	0,185	0,385	0,184	0,145	0,217	0,100	0,163	0,187	0,125	0,107	0,349	0,440
0,362	0,185	0,223	0,392	0,178	0,247	0,209	0,201	0,100	0,148	0,109	0,891	0,900

Zonas de tráfego												
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
0,900	0,116	0,200	0,149	0,133	0,170	0,152	0,130	0,120	0,163	0,124	0,302	0,100

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Tabela 4: Dados normalizados das zonas de tráfego 16 até 31.

Zonas de tráfego												
16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	31	
0,154	0,259	0,435	0,398	0,452	0,279	0,187	0,161	0,292	0,703	0,736	0,900	
0,199	0,224	0,478	0,434	0,413	0,256	0,203	0,332	0,240	0,711	0,763	0,900	
0,255	0,186	0,420	0,202	0,202	0,210	0,184	0,366	0,149	0,408	0,502	0,617	
0,484	0,216	0,187	0,143	0,119	0,191	0,241	0,482	0,121	0,112	0,178	0,147	
0,234	0,147	0,214	0,160	0,168	0,132	0,181	0,316	0,130	0,163	0,179	0,182	

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

#### 4.1.2 Grupos de Dados

Os três grupos de dados: dados 1; dados 2; e dados 3, são resultado do reagrupamento em ordem randômica dos dados normalizados. Eles são apresentados na Tabela 5, onde para cada um dos conjuntos são apresentados os dados de quais zonas de tráfego foram utilizados para o treinamento, o teste e a validação dos modelos neurais.

Independentemente das arquiteturas de RNA propostas neste trabalho, os conjuntos de dados utilizados nas etapas de treinamento, teste e validação foram sempre os mesmos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Grupos de dados de treinamento, teste e validação.

	Zonas de Tráfego		
	Conjunto de Dados 1	Conjunto de Dados 2	Conjunto de Dados 3
Treinamento	4, 11, 7, 10, 16, 15, 24, 5, 8, 31, 17 e 6	9, 14, 20, 24, 2, 21, 16, 5, 18, 8, 31 e 17	13, 24, 2, 6, 17, 9, 18, 26, 16, 7, 15 e 27
Teste	2, 13, 19, 18, 22 e 14	7, 1, 26, 13, 10 e 11	8, 23, 1, 10, 20 e 14
Validação	26, 1, 20, 27, 9, 23 e 21	4, 15, 22, 27, 23, 19 e 6	19, 31, 22, 4, 5, 21 e 11

Fonte: desenvolvido pelo autor.

## 4.2 TREINAMENTO, TESTE E VALIDAÇÃO DAS RNA

Conforme apresentado no Capítulo 3, neste trabalho foram propostos 12 arquiteturas de RNA para previsão da demanda de passageiros em sistema metroferroviários. Para cada uma dessas arquiteturas de RNA, as etapas de treinamento, teste e validação foram executadas alterando a combinação da Taxa de Aprendizagem e do Momento, e aplicando os conjuntos de dados da Tabela 5. Foram adotados cinco combinações para a Taxa de Aprendizagem/Momento e três conjuntos de dados. Assim, para cada arquitetura de RNA foram executados os processos de treinamento, teste e validação 15 vezes. Totalizando para as 12 arquiteturas 180 processos.

As Tabelas 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 e 29 apresentam todos os resultados obtidos nestes 180 processos de treinamento, teste e validação das 12 arquiteturas de RNA propostas em todas as 15 configurações de Taxa de Aprendizagem/Momento e conjuntos de dados. Em cada uma delas é destacado a melhor configuração obtida, isto é, o menor erro quadrático médio percentual (EQM%) obtido na fase de validação da rede.

Em cada uma das arquiteturas, para a configuração que apresenta o melhor resultado da série são destacados: i) a Taxa de Aprendizagem (A); ii) o momento (M); e iii) os tempos, em segundos, para o treinamento e o teste da RNA. Para essa configuração são apresentados ainda:

(a) os valores previstos na fase de validação do modelo, isto é, a saída do modelo neural. Com esses valores, foram calculados o coeficiente de Correlação ( $r$ ) e Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para o modelo ideal, isto é, uma reta de 45° entre os eixos x (valores reais) e y (valores previstos). As Tabelas 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30 apresentam os resultados obtidos;

(b) os gráficos do erro em função das épocas de treinamento e teste da rede, apresentados nas Figuras 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53 e 55; e

(c) os gráficos de dispersão dos valores reais, obtidos nas bases de dados dos operadores dos sistemas metroferroviários da RMSP, com valores previstos na saída dos modelos neurais. Nestes gráficos foram ainda incorporados a reta de 45°, que representa o modelo ideal (EQM% = zero) e os coeficientes  $r$  e  $R^2$ . Figuras 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54 e 56.

Em todas as arquiteturas, a configuração que apresentou os melhores resultados foi quando da utilização do conjunto de dados 3, assim, sempre os dados reais na saída da rede, são os dados desse conjunto, sendo os valores apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores reais da demanda normalizados na saída de todas a melhores RNA utilizadas.

Valores Reais	0,160	0,182	0,181	0,204	0,149	0,132	0,163
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Para realização das etapas de treinamento, teste e validação, foram desenvolvidos os *scripts*: Treinamento.sce; Teste.sce; e Validacao.sce, no SciLab, apresentados respectivamente nos Apêndices B, C e D. Ao final de cada uma das 180 configurações treinadas, testadas e validadas, todas as variáveis internas do sistema eram apagadas e os conjuntos de dados (DadosMSc.sod) eram recarregados novamente no sistema. Com isso, garantiu-se que os pesos de uma configuração já validada não influenciaram nem uma outra configuração.

Para gerar os gráficos de dispersão e calcular os coeficientes  $r$  e  $R^2$  da reta de 45° do modelo ideal, foi desenvolvido o *script* Dispersao.sce no SciLab, apresentado no Apêndice E.

#### 4.2.1 Arquitetura 01 (Arq-01 – N= 4, 3, 1)

Tabela 7: Arq-01 – Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
10,0	0,5	Tempo [s]	55,750	58,661	59,836	40,593	40,478	40,315	0,004	0,002	0,062
		Tempo [CPU]	51,496	51,792	51,262	36,145	36,239	36,473	0,016	0,031	0,078
		EQM [%]	0,135	0,221	0,163	0,389	0,111	0,162	8,100	5,153	0,956
0,5	0,5	Tempo [s]	56,500	55,681	57,883	39,558	40,332	42,401	0,005	0,004	0,003
		Tempo [CPU]	51,340	51,106	51,730	36,114	36,270	36,535	0,016	0,000	0,000
		EQM [%]	0,104	0,035	0,066	0,018	0,018	0,019	2,477	1,386	0,254
0,5	0,9	Tempo [s]	57,708	54,976	57,853	41,466	40,467	39,561	0,001	0,004	0,002
		Tempo [CPU]	51,200	51,278	51,714	36,723	36,177	36,707	0,000	0,031	0,000
		EQM [%]	0,081	0,030	0,063	0,012	0,017	0,024	1,692	1,496	0,189
0,9	0,5	Tempo [s]	54,790	55,473	54,798	38,243	37,261	38,946	0,001	0,001	0,002

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		Tempo [CPU]	51,137	51,293	51,309	36,348	36,270	36,270	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,083	0,031	0,060	0,012	0,016	0,019	1,955	0,959	0,230
		Tempo [s]	56,341	51,712	54,873	40,647	36,882	39,851	0,004	0,002	0,001
0,9	0,9	Tempo CPU	51,324	51,636	51,231	36,769	36,489	36,114	0,031	0,031	0,000
		EQM[%]	0,030	0,028	0,055	0,012	0,006	0,023	1,194	1,400	0,309

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 8: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-01.

Valores Previstos	0,151	0,273	0,186	0,213	0,203	0,176	0,152
Coefficiente de Correlação (r)	0,459		Coefficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )		0,210		

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

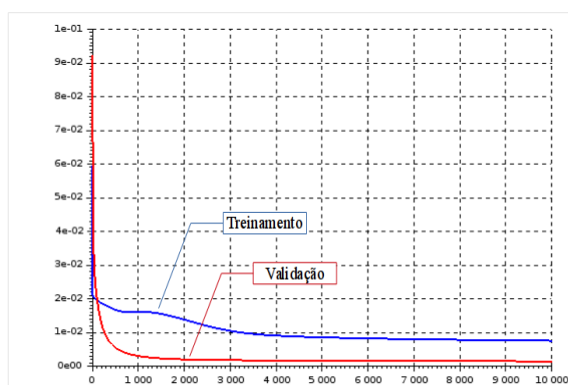


Figura 33: Erro x Época da melhor Arq-01

Fonte: saída do SciLab.

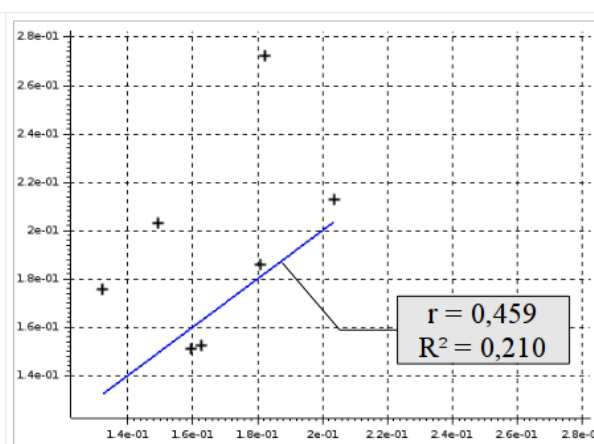


Figura 34: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-01.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.2 Arquitetura 02 (Arq-02 – N=4, 9, 1)

Tabela 9: Arq-02 – Tolerância de 0,0001 e nº épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,0	0,5	Tempo [s]	54,298	54,993	56,212	38,896	38,776	39,346	0,001	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	52,978	51,917	51,371	35,865	36,036	36,379	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,119	0,101	0,131	0,255	0,133	0,166	7,116	6,709	2,963
0,5	0,5	Tempo [s]	54,028	55,671	59,045	38,486	37,905	38,480	0,002	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	51,449	51,746	50,966	36,270	36,130	36,473	0,000	0,000	0,0312
		EQM [%]	0,063	0,037	0,046	0,015	0,016	0,019	1,011	0,469	0,288
0,5	0,9	Tempo [s]	54,866	55,378	54,290	37,854	37,366	38,148	0,001	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	51,184	51,402	51,574	36,270	36,021	36,130	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,026	0,031	0,011	0,012	0,018	0,019	0,463	0,651	0,138
0,9	0,5	Tempo [s]	55,250	54,120	54,609	38,526	39,094	38,320	0,001	0,002	0,001
		Tempo [CPU]	51,028	51,792	51,824	36,395	36,051	36,005	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,030	0,030	0,014	0,011	0,012	0,017	0,680	0,270	0,338
0,9	0,9	Tempo [s]	53,249	54,433	54,350	38,639	39,230	38,271	0,002	0,002	0,002
		Tempo CPU	51,886	51,761	51,356	36,348	36,255	36,379	0,000	0,000	0,000
		EQM[%]	0,020	0,029	0,003	0,008	0,009	0,007	0,361	1,639	0,551

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 10: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-02.

Valores Previstos	0,143	0,251	0,184	0,233	0,184	0,182	0,161
Coeficiente de Correlação (r)			0,605	Coeficiente de Determinação (R²)			0,366

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

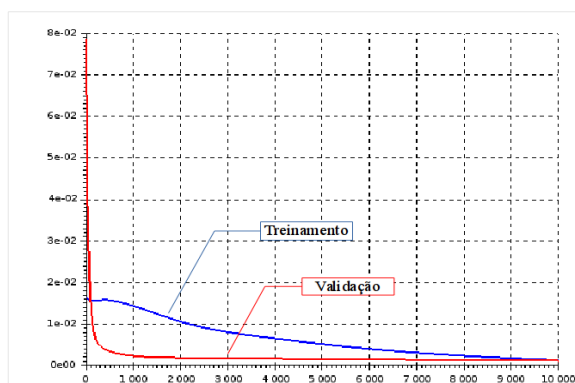


Figura 35: Erro x Época da melhor Arq-02  
Fonte: saída do SciLab.

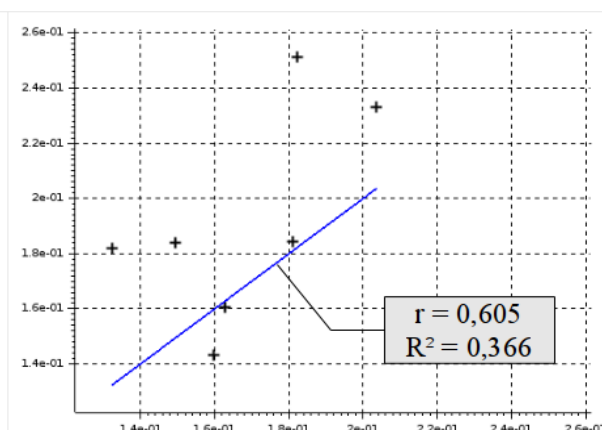


Figura 36: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-02.  
Fonte: saída do SciLab.

### 4.2.3 Arquitetura 03 (Arq-03 – N= 4, 2, 1)

Tabela 11: Arq-03– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

			Etapas								
A	M	Desempenho	Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01	0,5	Tempo [s]	48,260	48,727	48,610	28,599	29,117	29,095	0,004	0,003	0,006
		Tempo [CPU]	48,372	48,932	48,388	28,652	29,22	29,628	0,008	0,008	0,016
		EQM [%]	0,126	0,181	0,149	0,339	0,113	0,191	7,688	6,629	1,601
0,5	0,5	Tempo [s]	48,477	48,453	48,719	28,758	29,423	28,951	0,002	0,003	0,003
		Tempo [CPU]	48,600	48,488	48,840	28,804	29,480	29,044	0,000	0,012	0,012
		EQM [%]	0,099	0,033	0,062	0,016	0,013	0,018	3,052	2,608	0,168
0,5	0,9	Tempo [s]	48,689	48,691	48,924	28,593	29,101	28,702	0,004	0,003	0,003
		Tempo [CPU]	48,916	48,744	49,012	28,676	29,172	28,744	0,008	0,008	0,008
		EQM [%]	0,032	0,031	0,045	0,009	0,014	0,012	1,412	4,872	0,976
0,9	0,5	Tempo [s]	48,905	48,89	48,854	29,393	29,398	29,086	0,003	0,003	0,003
		Tempo [CPU]	48,988	48,928	49,056	29,472	29,480	29,164	0,008	0,012	0,004
		EQM [%]	0,080	0,030	0,056	0,012	0,011	0,014	3,355	2,299	0,247
0,9	0,9	Tempo [s]	48,978	48,922	48,511	29,193	29,160	28,976	0,004	0,003	0,003

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		Tempo CPU	49,012	48,968	48,564	29,280	29,248	29,028	0,008	0,008	0,004
		EQM[%]	0,080	0,029	0,059	0,009	0,013	0,024	4,524	7,598	0,078

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 12: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-03.

Valores Previstos	0,148	0,222	0,170	0,169	0,189	0,158	0,150
Coeficiente de Correlação (r)			0,290	Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )			0,084

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

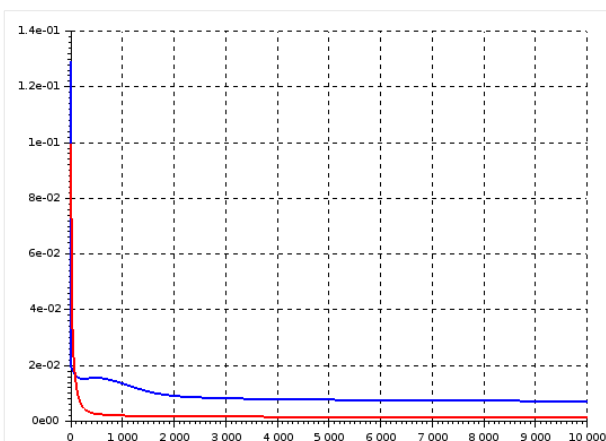


Figura 37: Erro x Época da melhor Arq-03.

Fonte: saída do SciLab.

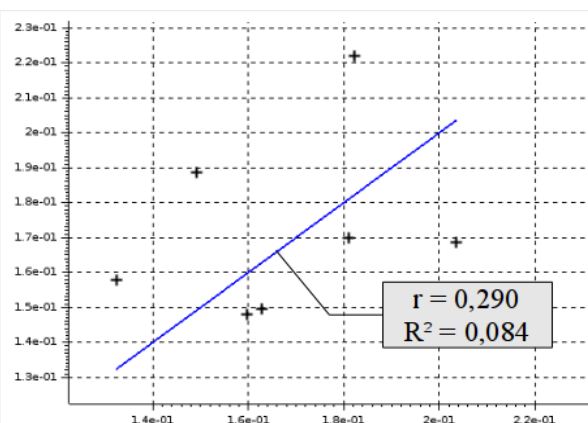


Figura 38: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-03.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.4 Arquitetura 04 (Arq-04 – N= 4, 5, 1)

Tabela 13: Arq-04– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
100	0,5	Tempo [s]	49,141	49,305	49,291	29,237	29,348	29,527	0,003	0,004	0,003
		Tempo [CPU]	49,392	49,360	49,348	29,264	30,120	29,548	0,008	0,016	0,004



A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		EQM [%]	0,121	0,165	0,141	0,343	0,200	0,179	7,889	6,220	3,583
0,5	0,5	Tempo [s]	49,327	49,416	49,475	29,411	29,190	29,454	0,004	0,004	0,002
		Tempo [CPU]	49,368	49,436	49,676	29,432	29,296	29,496	0,008	0,008	0,008
		EQM [%]	0,099	0,035	0,058	0,018	0,015	0,015	2,088	1,504	0,543
0,5	0,9	Tempo [s]	49,312	49,349	49,444	29,208	28,873	29,314	0,004	0,004	0,003
		Tempo [CPU]	49,380	49,372	49,492	29,268	28,932	29,428	0,012	0,008	0,008
		EQM [%]	0,028	0,032	0,010	0,008	0,021	0,016	0,593	3,204	0,547
0,9	0,5	Tempo [s]	49,435	49,404	49,288	29,304	29,530	29,475	0,003	0,002	0,004
		Tempo [CPU]	50,044	49,516	49,352	29,372	29,580	29,496	0,008	0,004	0,012
		EQM [%]	0,046	0,031	0,022	0,008	0,009	0,016	1,191	1,068	0,837
0,9	0,9	Tempo [s]	49,304	49,061	49,499	29,186	29,312	29,338	0,004	0,003	0,003
		Tempo CPU	49,472	49,140	50,888	29,248	29,392	29,364	0,008	0,008	0,008
		EQM[%]	0,022	0,029	0,003	0,005	0,012	0,002	0,579	4,034	1,757

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 14: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-04.

Valores Previstos	0,139	0,308	0,170	0,192	0,283	0,182	0,198
Coeficiente de Correlação (r)		0,052	Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )		0,003		

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

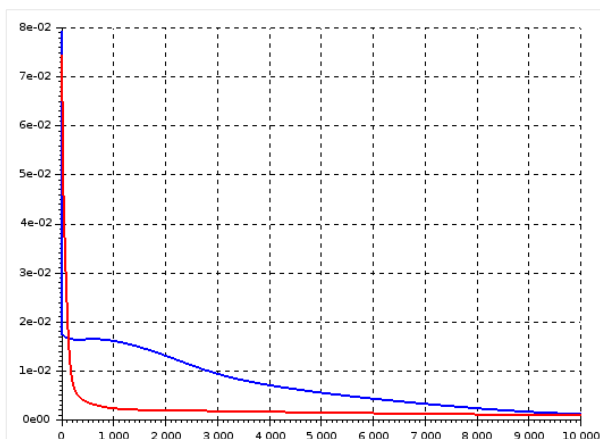


Figura 39: Erro x Época da melhor Arq-04.

Fonte: saída do SciLab.

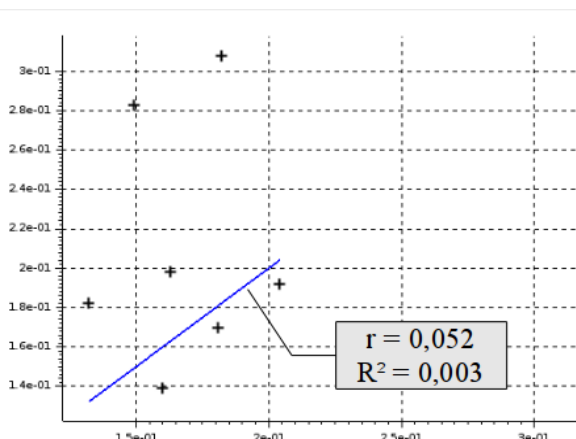


Figura 40: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-04.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.5 Arquitetura 05 (Arq-05 – N= 4, 3, 2, 1)

Tabela 15: Arq-05– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01	0,5	Tempo [s]	64,098	64,823	63,021	44,173	44,313	43,281	0,002	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	62,510	62,151	63,180	41,293	41,761	41,481	0,016	0,000	0,000
		EQM [%]	0,758	1,639	0,904	1,226	22,891	20,511	27,746	5,749	9,983
0,5	0,5	Tempo [s]	64,285	64,482	66,474	47,622	42,905	44,881	0,002	0,003	0,002
		Tempo [CPU]	62,182	61,932	61,667	41,793	41,356	41,636	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,707	0,226	0,725	0,072	0,049	0,065	14,511	25,549	0,386
0,5	0,9	Tempo [s]	65,962	65,758	65,349	45,015	45,701	43,491	0,002	0,002	0,003
		Tempo [CPU]	63,991	62,432	62,338	41,949	41,559	41,574	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,612	0,187	0,173	0,052	0,047	0,073	6,323	25,615	0,200
0,9	0,5	Tempo [s]	65,800	66,270	62,761	44,848	43,871	36,673	0,002	0,002	0,003
		Tempo [CPU]	61,948	62,572	62,856	41,574	41,621	36,692	0,000	0,0156	0,008
		EQM [%]	0,684	0,193	0,067	0,054	0,0485	0,022	11,630	21,930	0,053
0,9	0,9	Tempo [s]	65,598	64,190	65,148	43,943	45,463	43,087	0,002	0,001	0,002

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		Tempo CPU	62,229	61,854	62,057	41,465	41,246	41,668	0,000	0,000	0,000
		EQM[%]	0,470	0,145	0,0187	0,026	0,039	0,035	9,964	16,106	0,575

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 16: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-05.

Valores Previstos	0,149	0,174	0,174	0,192	0,172	0,188	0,163
Coefficiente de Correlação (r)	0,209			Coefficiente de Determinação (R²)			0,043

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

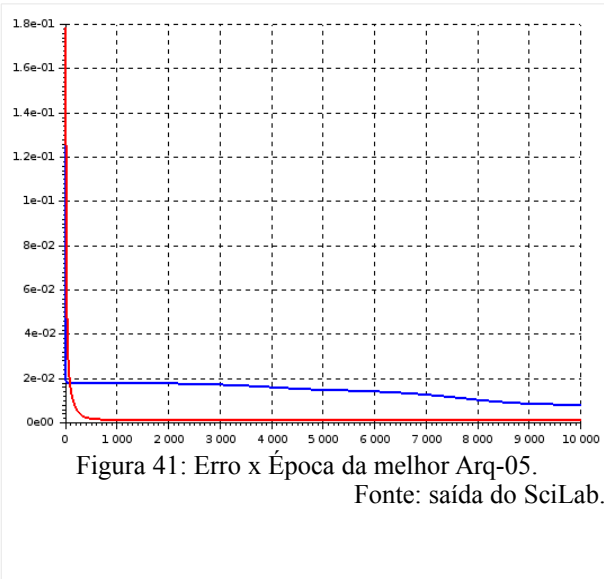


Figura 41: Erro x Época da melhor Arq-05.  
Fonte: saída do SciLab.

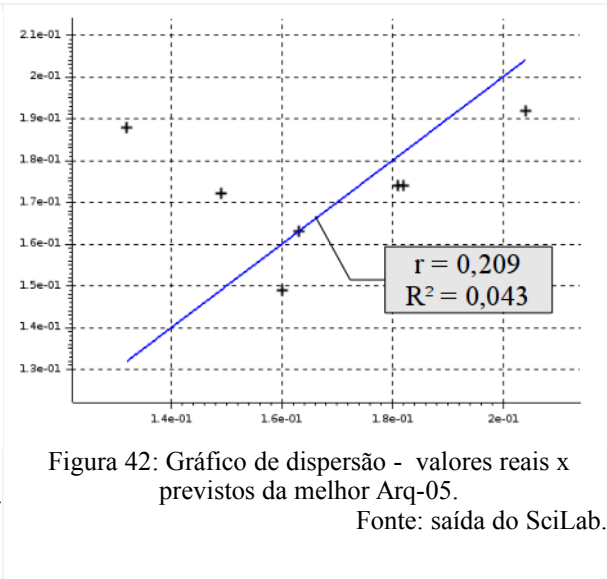


Figura 42: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-05.  
Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.6 Arquitetura 06 (Arq-06 – N= 4, 9, 5, 1)

Tabela 17: Arq-06– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,1	0,5	Tempo [s]	67,410	67,754	72,554	44,849	44,99	44,668	0,005	0,002	0,003
		Tempo [CPU]	64,460	66,300	62,806	43,602	44,148	42,760	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,766	1,429	0,906	1,139	0,412	1,236	27,237	18,691	5,874
0,5	0,5	Tempo [s]	66,138	63,718	63,983	43,266	44,654	36,438	0,003	0,003	0,003
		Tempo [CPU]	63,274	63,118	64,052	42,229	41,855	36,464	0,000	0,000	0,008
		EQM [%]	0,673	0,213	0,064	0,057	0,036	0,023	11,286	10,449	0,050
0,5	0,9	Tempo [s]	64,839	63,793	65,953	42,716	43,629	43,313	0,002	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	62,697	63,446	62,432	42,027	42,307	41,964	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,145	0,178	0,069	0,065	0,024	0,054	6,200	5,837	0,204
0,9	0,5	Tempo [s]	67,530	64,587	65,624	44,049	44,348	44,587	0,003	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	62,213	62,806	63,009	41,839	42,120	42,136	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,555	0,180	0,188	0,038	0,027	0,058	7,552	6,787	0,271
0,9	0,9	Tempo [s]	65,030	64,450	66,780	43,492	45,196	43,876	0,004	0,002	0,002
		Tempo CPU	62,852	63,804	63,087	42,229	41,839	42,183	0,000	0,000	0,017
		EQM[%]	0,056	0,133	0,038	0,021	0,055	0,021	4,665	4,660	0,203

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 18: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-06.

Valores Previstos	0,150	0,182	0,174	0,177	0,189	0,163	0,151
Coeficiente de Correlação (r)	0,288			Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )			0,083

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

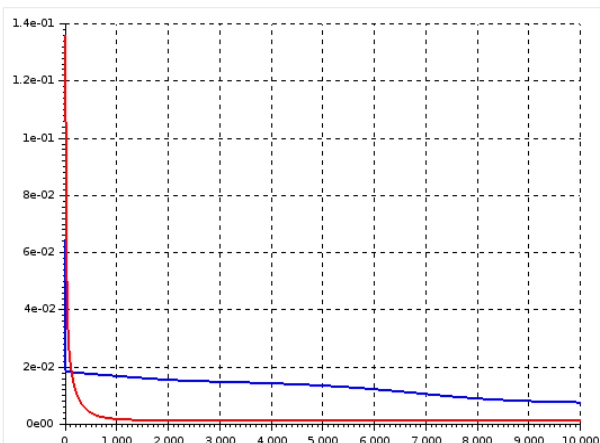


Figura 43: Erro x Época da melhor Arq-06.

Fonte: saída do SciLab.

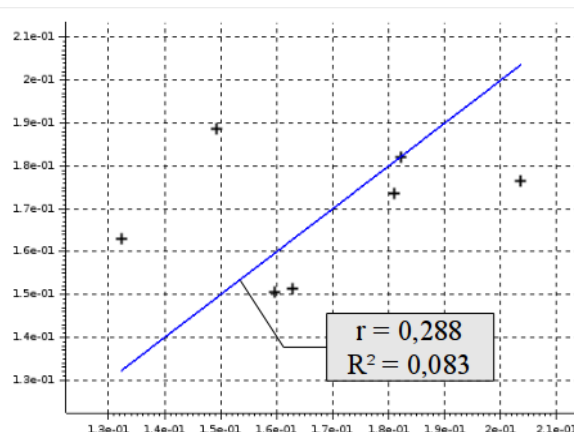


Figura 44: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-06.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.7 Arquitetura 07 (Arq-07 – N= 4, 2, 1, 1)

Tabela 19: Arq-07– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01	0,5	Tempo [s]	61,102	70,163	65,212	35,323	34,670	40,737	0,004	0,004	0,003
		Tempo [CPU]	61,460	72,428	66,572	35,704	34,724	42,192	0,012	0,016	0,008
		EQM [%]	0,130	0,257	0,155	0,387	1,837	6,114	7,924	4,090	2,627
0,5	0,5	Tempo [s]	60,906	60,741	60,718	34,908	34,830	34,976	0,003	0,003	0,004
		Tempo [CPU]	61,356	61,028	61,364	34,952	34,872	35,012	0,008	0,012	0,012
		EQM [%]	0,118	0,042	0,118	0,027	0,015	0,022	4,878	6,275	0,510
0,5	0,9	Tempo [s]	61,114	60,399	60,144	34,737	0,000	34,607	0,002	0,005	0,006
		Tempo [CPU]	61,448	60,448	60,228	34,784	34,932	34,652	0,008	0,012	0,012
		EQM [%]	0,117	0,032	0,010	0,029	0,170	0,020	4,488	6,740	0,069
0,9	0,5	Tempo [s]	60,182	61,037	61,079	35,192	35,186	35,006	0,004	0,004	0,004
		Tempo [CPU]	60,696	61,284	61,140	35,220	35,232	35,028	0,012	0,012	0,012
		EQM [%]	0,117	0,038	0,019	0,020	0,015	0,020	4,191	0,074	0,057
0,9	0,9	Tempo [s]	60,943	60,311	60,539	35,866	35,017	35,172	0,003	0,003	0,005

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		Tempo CPU	61,548	60,488	61,056	35,916	3,068	35,232	0,008	0,008	0,012
		EQM[%]	0,018	0,025	0,004	0,023	0,012	0,019	1,083	3,390	0,087

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 20: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-07.

Valores Previstos	0,148	0,165	0,161	0,165	0,180	0,154	0,148
Coeficiente de Correlação (r)			0,145	Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )			0,021

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

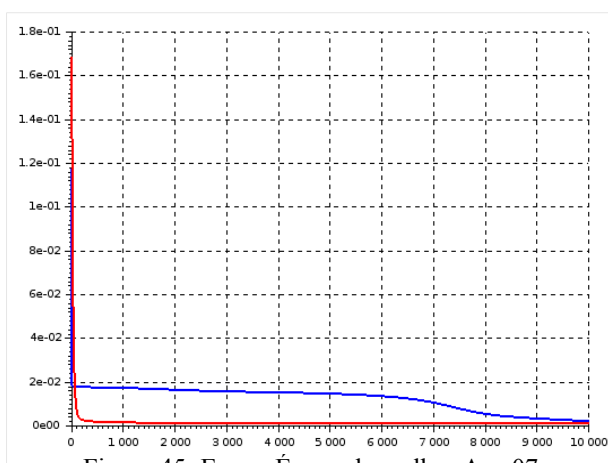


Figura 45: Erro x Época da melhor Arq-07.

Fonte: saída do SciLab.

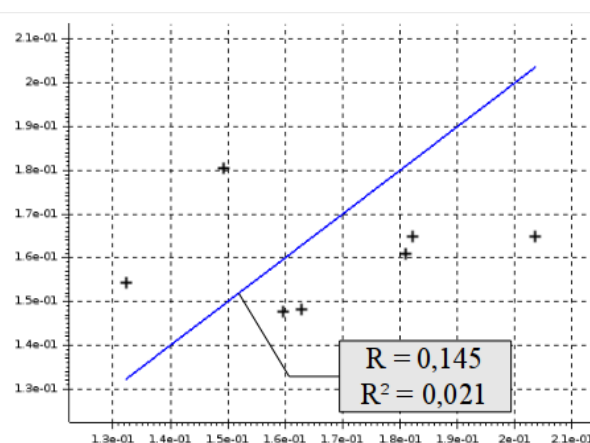


Figura 46: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-07.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.8 Arquitetura 08 (Arq-08 – N= 4, 5, 3, 1)

Tabela 21: Arq-08– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,5		Tempo [s]	122,198	68,779	142,878	81,817	39,895	84,107	0,005	0,003	0,004

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01		Tempo [CPU]	123,356	72,668	144,824	81,860	39,904	84,400	0,016	0,008	0,008
		EQM [%]	0,124	0,257	0,148	0,399	0,853	1,255	7,921	3,064	2,364
0,5	0,5	Tempo [s]	61,451	61,259	143,882	35,253	35,152	35,634	0,003	0,002	0,004
		Tempo [CPU]	63,628	62,220	144,228	35,328	35,192	35,664	0,012	0,008	0,008
		EQM [%]	0,115	0,033	0,057	0,021	0,012	0,022	3,589	4,746	0,064
0,5	0,9	Tempo [s]	61,025	60,708	60,191	34,976	35,193	35,084	0,003	0,004	0,005
		Tempo [CPU]	61,996	60,864	60,516	35,096	35,268	35,124	0,008	0,012	0,008
		EQM [%]	0,036	0,030	0,007	0,004	0,012	0,019	1,279	3,364	0,068
0,9	0,5	Tempo [s]	60,923	60,691	61,239	35,113	35,433	35,163	0,003	0,005	0,003
		Tempo [CPU]	61,492	61,000	65,200	35,144	35,496	35,180	0,004	0,020	0,008
		EQM [%]	0,106	0,030	0,021	0,013	0,010	0,018	2,375	2,576	0,237
0,9	0,9	Tempo [s]	60,809	61,756	61,401	27,418	35,528	35,425	0,003	0,003	0,003
		Tempo CPU	61,060	61,868	61,648	27,652	35,616	35,144	0,008	0,008	0,008
		EQM[%]	0,017	0,026	0,002	0,001	0,009	0,014	1,113	2,730	0,242

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 22: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-08.

Valores Previstos	0,151	0,210	0,176	0,191	0,195	0,166	0,150
Coeficiente de Correlação (r)	0,419		Coeficiente de Determinação (R²)		0,175		

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

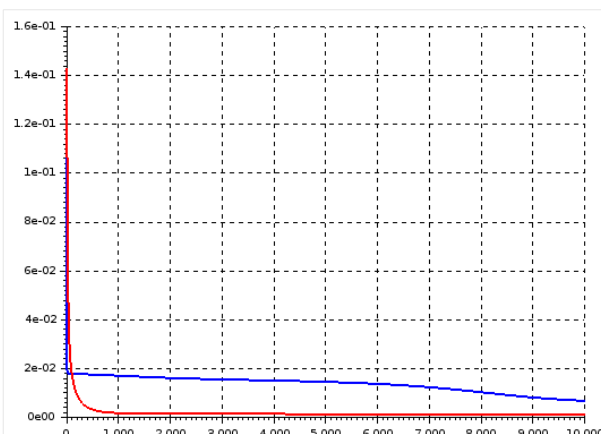


Figura 47: Erro x Época da melhor Arq-08.

Fonte: saída do SciLab.

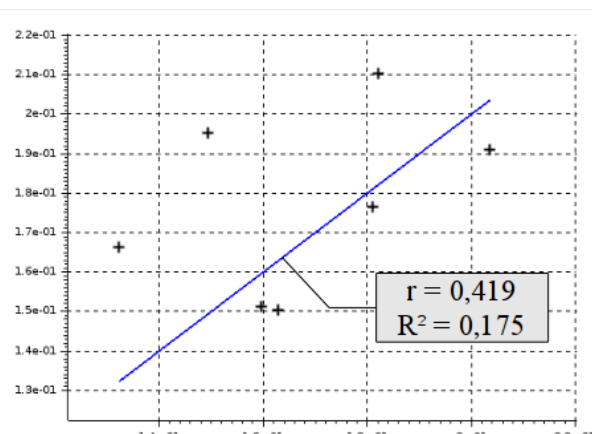


Figura 48: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-08.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.9 Arquitetura 09 (Arq-09 – N= 4, 3, 6, 1)

Tabela 23: Arq-09– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01	0,5	Tempo [s]	72,062	68,922	64,917	47,280	45,434	47,701	0,003	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	66,004	65,318	63,820	43,462	42,775	43,587	0,000	0,016	0,000
		EQM [%]	0,765	1,586	0,911	1,194	6,414	12,963	27,672	10,059	8,113
0,5	0,5	Tempo [s]	71,843	68,991	66,690	46,156	47,730	45,151	0,005	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	65,380	65,411	64,428	43,259	43,087	43,149	0,000	0,031	0,000
		EQM [%]	0,694	0,200	0,591	0,068	0,046	0,066	12,975	15,673	0,379
0,5	0,9	Tempo [s]	69,875	69,282	63,387	47,717	46,274	36,257	0,002	0,002	0,004
		Tempo [CPU]	65,286	65,224	63,408	42,884	43,306	36,252	0,000	0,000	0,008
		EQM [%]	0,428	0,175	0,023	0,041	0,042	0,023	9,847	19,819	0,053
0,9	0,5	Tempo [s]	68,748	72,684	67,635	45,436	45,132	46,340	0,001	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	65,380	65,676	65,395	43,197	43,228	43,337	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,648	0,181	0,383	0,050	0,039	0,069	9,509	12,686	0,260
0,9	0,9	Tempo [s]	70,553	70,144	69,578	46,796	49,035	48,117	0,002	0,001	0,002



A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		Tempo CPU	65,473	65,270	64,834	43,368	43,727	43,571	0,000	0,000	0,000
		EQM[%]	0,130	0,158	0,018	0,028	0,035	0,043	2,300	20,235	0,401

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 24: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-09.

Valores Previstos	0,140	0,181	0,186	0,205	0,178	0,181	0,166
Coefficiente de Correlação (r)			0,480			Coefficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )	0,230

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

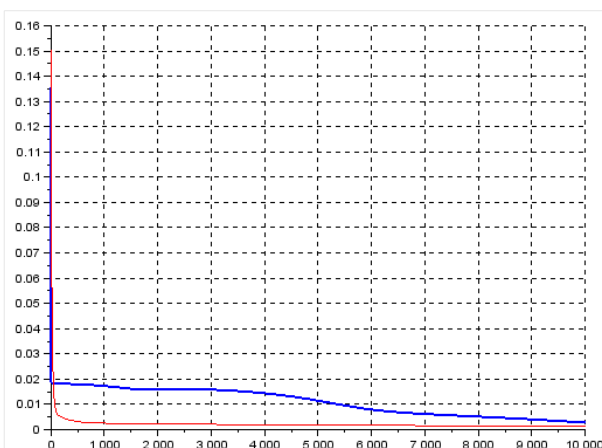


Figura 49: Erro x Época da melhor Arq-09.

Fonte: saída do SciLab.

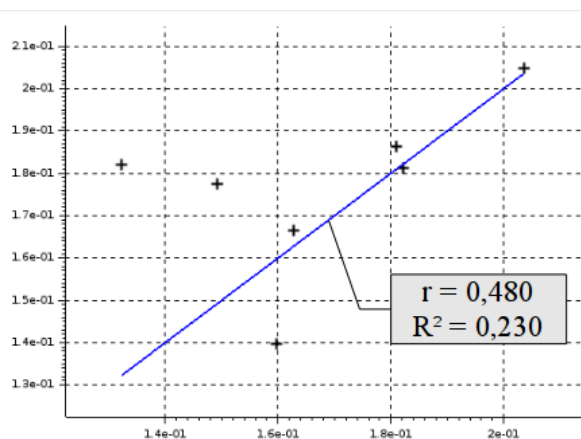


Figura 50: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-09.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.10 Arquitetura 10 (Arq-10 – N= 4, 9, 18, 1)

Tabela 25: Arq-10– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
10,0	0,5	Tempo [s]	74,734	73,652	77,199	48,822	49,933	51,354	0,002	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	68,391	68,906	68,515	45,443	45,427	44,881	0,000	0,000	0,000

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		EQM [%]	0,719	0,773	0,828	0,905	0,252	0,266	25.590	26.316	12,207
0,5	0,5	Tempo [s]	71,748	74,704	67,105	47,773	50,714	38,176	0,002	0,004	0,002
		Tempo [CPU]	67,486	69,155	67,176	45,100	45,412	28,200	0,000	0,000	0,008
		EQM [%]	0,606	0,235	0,059	0,051	0,038	0,021	6,600	3,343	0,109
0,5	0,9	Tempo [s]	75,315	71,827	77,529	49,598	47,925	50,364	0,002	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	68,874	68,656	68,313	45,864	45,645	45,147	0,031	0,031	0,016
		EQM [%]	0,158	0,195	0,116	0,021	0,030	0,060	1,956	2,942	1,028
0,9	0,5	Tempo [s]	71,966	71,337	72,683	47,898	47,583	47,534	0,002	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	68,422	68,827	68,032	44,944	45,646	44,928	0,000	0,000	0,016
		EQM [%]	0,223	0,201	0,168	0,027	0,033	0,056	3,458	2,775	0,707
0,9	0,9	Tempo [s]	76,703	79,231	74,297	50,970	49,679	74,297	0,008	0,002	0,002
		Tempo CPU	68,593	68,578	68,937	46,332	45,225	45,599	0,000	0,000	0,000
		EQM[%]	0,105	0,169	0,015	0,043	0,022	0,014	2,083	3,525	12,072

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 26: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-10.

Valores Previstos	0,152	0,242	0,181	0,208	0,197	0,173	0,152
Coeficiente de Correlação (r)			0,491		Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )		0,241

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

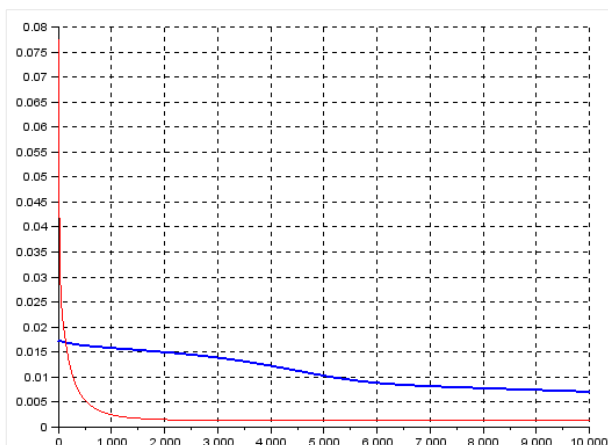


Figura 51: Erro x Época da melhor Arq-10.

Fonte: saída do SciLab.

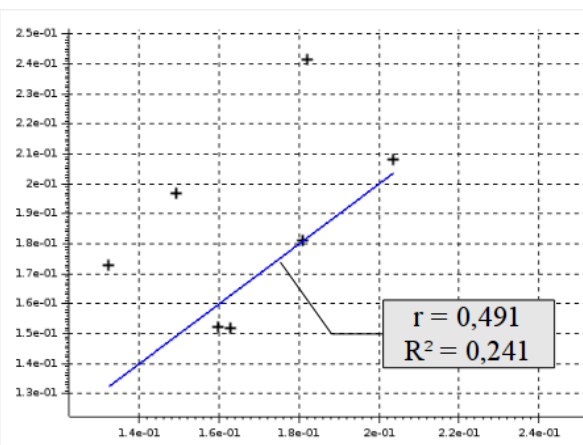


Figura 52: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-10.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.11 Arquitetura 11 (Arq-11 – N= 4, 2, 4, 1)

Tabela 27: Arq-11– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01	0,5	Tempo [s]	72,732	70,177	69,281	45,48	45,599	52,166	0,002	0,002	0,004
		Tempo [CPU]	64,912	66,924	66,035	43,587	43,275	48,235	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,753	1,603	0,900	1,220	17,613	20,966	27,776	8,733	9,989
0,5	0,5	Tempo [s]	69,673	70,024	68,416	46,451	46,444	45,971	0,001	0,002	0,002
		Tempo [CPU]	64,241	64,615	64,148	42,993	43,415	42,994	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,706	0,205	0,742	0,081	0,041	0,062	15,190	29,166	0,705
0,5	0,9	Tempo [s]	73,056	74,056	71,567	49,498	47,373	46,873	0,002	0,001	0,002
		Tempo [CPU]	64,132	65,037	64,849	43,353	42,666	43,212	0,000	0,000	0,000
		EQM [%]	0,159	0,181	0,070	0,070	0,042	0,063	5,912	33,253	0,282
0,9	0,5	Tempo [s]	69,173	67,757	63,052	44,806	44,894	36,037	0,002	0,001	0,004
		Tempo [CPU]	62,463	65,505	63,032	42,588	43,961	36,004	0,000	0,000	0,008
		EQM [%]	0,692	0,181	0,064	0,058	0,037	0,021	11,444	29,309	0,061
0,9	0,9	Tempo [s]	71,602	70,991	68,693	50,996	48,034	45,515	0,002	0,005	0,001

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		Tempo CPU	62,525	62,837	62,322	42,573	42,588	42,300	0,000	0,016	0,000
		EQM[%]	0,102	0,150	0,023	0,070	0,034	0,039	4,218	30,954	0,749

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 28: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-11.

Valores Previstos	0,149	0,163	0,171	0,167	0,188	0,160	0,151
Coefficiente de Correlação (r)	0,031			Coefficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )			0,001

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

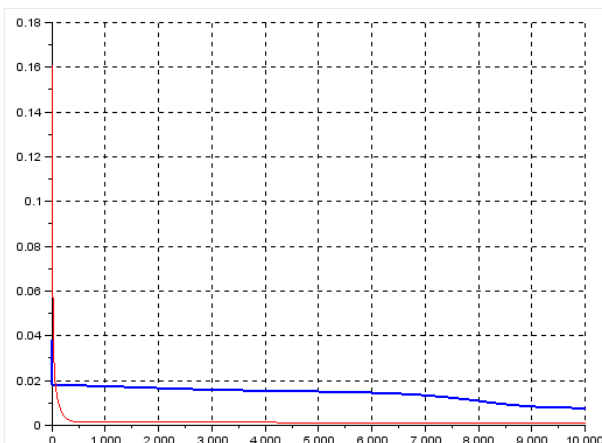


Figura 53: Erro x Época da melhor Arq-11.

Fonte: saída do SciLab.

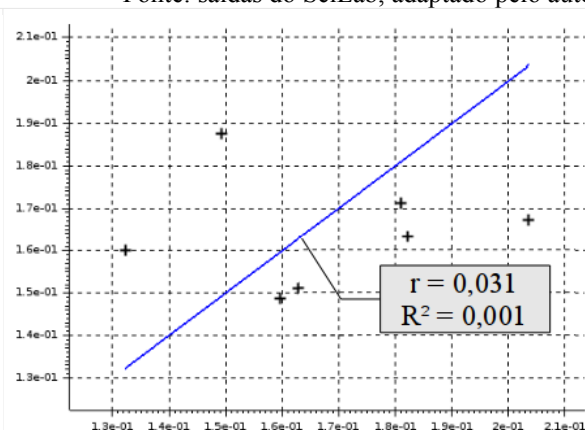


Figura 54: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-11.

Fonte: saída do SciLab.

#### 4.2.12 Arquitetura 12 (Arq-12 – N= 4, 5, 10, 1)

Tabela 29: Arq-12– Tolerância de 0,0001 e n° épocas de 10.000 iterações.

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
0,01	0,5	Tempo [s]	74,218	76,263	64,256	47,622	65,795	37,203	0,003	0,003	0,003
		Tempo [CPU]	74,496	76,672	64,112	50,380	66,892	37,744	0,008	0,016	0,008

A	M	Desempenho	Etapas								
			Treinamento			Teste			Validação		
			Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3	Dados1	Dados2	Dados3
		EQM [%]	0,124	0,248	0,148	0,403	0,360	0,560	7,958	4,008	2,831
		Tempo [s]	61,998	62,790	62,937	35,628	35,649	36,416	0,003	0,005	0,001
0,5	0,5	Tempo [CPU]	62,792	63,984	63,484	35,732	35,944	37,160	0,008	0,015	0,000
		EQM [%]	0,112	0,033	0,066	0,020	0,013	0,022	3,176	4,103	0,051
		Tempo [s]	62,823	62,631	62,388	35,754	36,502	36,295	0,002	0,002	0,002
0,5	0,9	Tempo [CPU]	63,044	62,724	62,452	35,864	37,520	36,620	0,008	0,012	0,008
		EQM [%]	0,037	0,031	0,042	0,010	0,014	0,024	0,640	3,834	0,058
		Tempo [s]	62,553	62,658	63,538	36,305	36,040	36,793	0,002	0,001	0,003
0,9	0,5	Tempo [CPU]	62,728	62,896	63,764	36,792	36,300	36,828	0,008	0,004	0,004
		EQM [%]	0,095	0,031	0,060	0,012	0,011	0,022	1,993	2,872	0,050
		Tempo [s]	62,640	62,378	62,231	34,911	36,074	35,655	0,004	0,003	0,002
0,9	0,9	Tempo CPU	62,704	62,636	62,360	35,484	36,576	35,836	0,012	0,012	0,004
		EQM[%]	0,019	0,028	0,005	0,002	0,013	0,017	0,624	3,310	0,045

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 30: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-12.

Valores Previstos	0,137	0,173	0,173	0,204	0,182	0,171	0,158
Coeficiente de Correlação (r)		0,478	Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )		0,228		

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

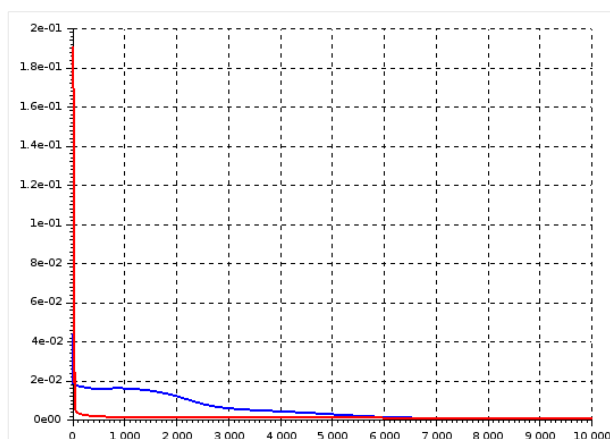


Figura 55: Erro x Época da melhor Arq-12.

Fonte: saída do SciLab.

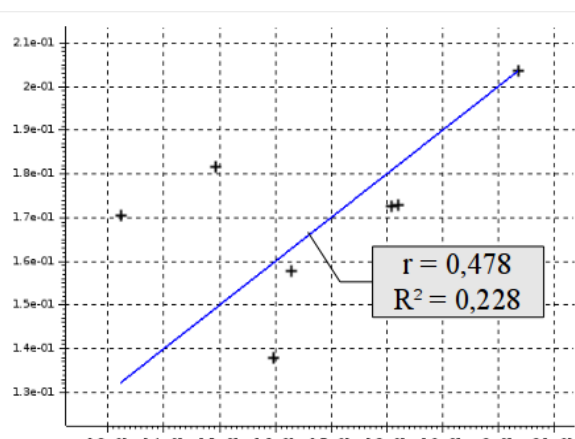


Figura 56: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-12.

### 4.3 RESUMO DOS MELHORES RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 31 apresenta um resumo, ordenado de forma crescente pelo EQM%, com os resultados das melhores arquiteturas obtidas em cada uma das configurações executadas. Nela se observa que a melhor arquitetura, dentre as propostas neste trabalho, foi a arquitetura 12 (Arq-12) com a taxa de treinamento e momento iguais a 0,9, utilizando o conjunto de dados 3, obtendo um erro quadrático médio percentual de 0,045%. No outro extremo, está a arquitetura 04 (Arq-04), que obteve o pior resultado, com um erro quadrático médio percentual de 0,543%.

Tabela 31: Resumo dos melhores resultados obtidos ordenados pelo EQM%

Arquitetura		Taxa de Aprendizagem/ Momento	Conjunto de Dados	Tempos [s]		EQM% Validação	Coeficientes	
Nº	Topologia			Treina- mento	Teste		r	R²
Arq-12	[4, 5, 10, 1]	0,9/0,9	Dados 3	62,231	35,655	0,045	0,478	0,228
Arq-06	[4, 9, 5, 1]	0,5/0,5	Dados 3	63,983	36,438	0,050	0,288	0,083
Arq-05	[4, 3, 2, 1]	0,9/0,5	Dados 3	62,761	36,673	0,053	0,209	0,043
Arq-09	[4, 3, 6, 1]	0,5/0,9	Dados 3	63,387	36,257	0,053	0,480	0,230
Arq-07	[4, 2, 1, 1]	0,9/0,5	Dados 3	61,079	35,006	0,057	0,145	0,021
Arq-11	[4, 2, 4, 1]	0,9/0,5	Dados 3	63,052	36,037	0,061	0,031	0,001

Arquitetura		Taxa de Aprendizagem/ Momento	Conjunto de Dados	Tempos [s]		EQM% Validação	Coeficientes	
Nº	Topologia			Treina- mento	Teste		r	R <sup>2</sup>
Arq-08	[4, 5, 3, 1]	0,5/0,5	Dados 3	143,882	35,634	0,064	0,419	0,175
Arq-03	[4, 2, 1]	0,9/0,9	Dados 3	48,511	28,976	0,078	0,290	0,084
Arq-10	[4, 9, 18, 1]	0,5/0,5	Dados 3	67,105	38,176	0,109	0,491	0,241
Arq-02	[4, 9, 1]	0,5/0,9	Dados 3	54,290	38,148	0,138	0,605	0,366
Arq-01	[4, 3, 1]	0,5/0,9	Dados 3	57,853	39,561	0,189	0,459	0,210
Arq-04	[4, 5, 1]	0,5/0,5	Dados 3	49,475	29,454	0,543	0,052	0,003

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor

Conforme já adiantado, observa-se na Tabela 31 que as melhores configurações foram obtidas sempre com o conjunto de dados 3, apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Já a Tabela 32 ordena as arquiteturas em função do coeficiente de correlação (r) em ordem decrescente, uma vez que, quanto mais próximo da unidade o valor deste coeficiente, melhor é o resultado do modelo, assim, o melhor resultado foi obtido pela Arq-02 e o pior pela Arq-11.

Tabela 32: Resumo dos melhores resultados obtidos ordenados pelo r.

Arquitetura	EQM% Validação	Coeficientes	
		r	R <sup>2</sup>
Arq-02	0,138	0,605	0,366
Arq-10	0,109	0,491	0,241
Arq-09	0,053	0,480	0,230
Arq-12	0,045	0,478	0,228
Arq-01	0,189	0,459	0,210
Arq-08	0,064	0,419	0,175
Arq-03	0,078	0,290	0,084
Arq-06	0,050	0,288	0,083
Arq-05	0,053	0,209	0,043
Arq-07	0,057	0,145	0,021
Arq-04	0,543	0,052	0,003
Arq-11	0,061	0,031	0,001

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor

#### 4.4 MÉTODO DE GARSON

Conforme apresentado no Capítulo 3, o Método de Garson permite uma análise de relevância de cada uma das variáveis de entrada de um modelo neural. A proposta inicial deste trabalho contempla essa análise, que seria realizada na melhor RNA que apresentasse a melhor performance, no caso a Arq-12, conforme a Tabela 31. Contudo, como essa rede apresenta duas camadas ocultas, o método de Garson não é aplicável neste caso. Para ilustrar a sua aplicação, ela foi realizada na arquitetura com apenas uma camada oculta que obteve a melhor performance, no caso a Arq-03.

A Figura 57 representa a RNA proposta na Arq-03, com o detalhamento dos pesos de cada uma das conexões e das bias dos dois neurônios da camada escondida e da saída. As Tabelas 33 e 34 apresentam, respectivamente, os pesos de todas as conexões e os termos bias da rede, todos obtidos após as etapas de treinamento e teste desta arquitetura.

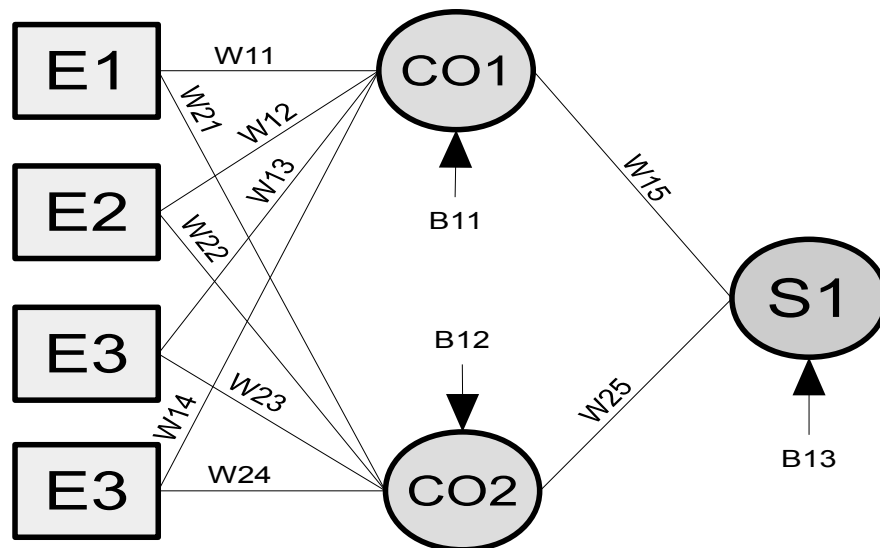


Figura 57: Arq-03 -  $N = [4, 2, 1]$  com os pesos e bias.

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Tabela 33: Pesos das conexões da Arq-03.

Pesos Sinápticos (W)				
W11=	W12=	W13=	W14=	W15=
-1,2562412	-1,7161188	-1,6838028	0,7171231	1,2137635
W21=	W22=	W23=	W24=	W25=
3,4106466	4,1958161	-3,1314566	-4,4990400	-0,1679926

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor



Tabela 34: Bias das camadas escondidas e da saída da Arq-03.

Bias (B)		
B11= 2,9521125	B12= 1,4218299	B13= -5,1240178

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor

#### 4.4.1 Passo 1: Cálculo das contribuições das entradas na saída

O primeiro passo é calcular a contribuição de cada entrada na saída da rede neural, passando sempre pelos neurônios escondidos. Para isso, para cada uma das entradas, multiplica-se o peso associado entre a camada de entrada e o respectivo neurônio escondido, pelo peso entre essa camada escondida e a camada de saída; a Tabela 35 apresenta esses cálculos para a Arq-03.

Tabela 35: Cálculo das contribuições das entradas na saída para a Arq-03.

	CO1	CO2
E1	$C_{CO1E1} = W11 \times W15 = -1,5247797158$	$C_{CO2E1} = W21 \times W25 = -0,5729633900$
E2	$C_{CO1E2} = W12 \times W15 = -2,0829623611$	$C_{CO2E2} = W22 \times W25 = -0,7048660558$
E3	$C_{CO1E3} = W13 \times W15 = -2,0437383798$	$C_{CO2E3} = W23 \times W25 = 0,5260615360$
E4	$C_{CO1E4} = W14 \times W15 = 0,8704178438$	$C_{CO2E4} = W24 \times W25 = 0,7558054271$
$\sum   $	$\sum  _{ECO1}  =  C_{CO1E1}  +  C_{CO1E2}  +  C_{CO1E3}  +  C_{CO1E4}  = 6,5218983005$	$\sum  _{ECO2}  =  C_{CO2E1}  +  C_{CO2E2}  +  C_{CO2E3}  +  C_{CO2E4}  = 2,5596964089$

Fonte: desenvolvido pelo autor.

#### 4.4.2 Passo 2: Cálculo da contribuição relativa de cada neurônio

A contribuição relativa de cada neurônio é calculada pela razão da contribuição de cada entrada na saída pelo somatório dos módulos dessas contribuições; a Tabela 36 apresenta esses cálculos para a Arq-03.

Tabela 36: Contribuição relativa de cada neurônio da Arq-03.

Contribuições relativas ao neurônio CO1	Contribuições relativas ao neurônio CO2	$\sum$ Contribuições de cada entrada
$r_{CO1E1} = C_{CO1E1} \div \sum  _{ECO1}  =$	$r_{CO2E1} = C_{CO2E1} \div \sum  _{ECO2}  =$	$r_{E1} = r_{CO1E1} + r_{CO2E1} =$

Contribuições relativas ao neurônio CO1	Contribuições relativas ao neurônio CO2	$\Sigma$ Contribuições de cada entrada
0,2337938504	0,2238403695	0,4576342199
$r_{CO1E2} = C_{CO1E2} \div \sum  ECO1  =$ 0,3193797672	$r_{CO2E2} = C_{CO2E2} \div \sum  ECO2  =$ 0,2753709593	$r_{E2} = r_{CO1E2} + r_{CO2E2} =$ 0,5947507266
$r_{CO1E3} = C_{CO1E3} \div \sum  ECO1  =$ 0,3133655702	$r_{CO2E3} = C_{CO2E3} \div \sum  ECO2  =$ 0,2055171598	$r_{E3} = r_{CO1E3} + r_{CO2E3} =$ 0,5188827301
$r_{CO1E4} = C_{CO1E4} \div \sum  ECO1  =$ 0,1334608121	$r_{CO2E4} = C_{CO2E4} \div \sum  ECO2  =$ 0,2952715113	$r_{E4} = r_{CO1E4} + r_{CO2E4} =$ 0,4287323234
$\Sigma$ Total das Contribuições Relativas		$r_{TOTAL} = r_{E1} + r_{E2} + r_{E3} + r_{E4} =$ 2

Fonte: desenvolvido pelo autor.

#### 4.4.3 Passo 3: Cálculo da importância relativa de cada entrada

A importância relativa de cada uma das entradas da RNA é obtida pela divisão do somatório da contribuição relativa de cada entrada pelo somatório total das contribuições relativas. A Figura 58 ilustra as relevâncias das variáveis de entrada da Arq-03, calculadas via método de Garson. Nela observa-se que as variáveis de maior relevância são, respectivamente, os números de matrículas e os de empregos. Esse resultado contradiz a ordem dos motivos das viagens na RMSP, evidenciado na pesquisa PMU-RMSP de 2012, apresentados na Figura 31, onde os motivos são devido a trabalho (emprego) e estudo (matrículas escolares), nessa ordem.

#### 4.5 NOVAS REDES COM VARIÁVEIS MAIS RELEVANTES

Para testar a influência das variáveis menos relevantes nos resultados do modelo neural foram realizados dois testes, sendo eles: i) Arq-31: inicialmente excluiu-se somente a variável menos relevante do modelo, no caso a renda per capita; e ii) Arq-32: excluiu-se as duas variáveis menos relevantes do modelo, restando apenas as variáveis: matrículas escolares e empregos. Em ambos os testes as RNA foram treinadas na melhor configuração já obtida para a Arq-03, conforme apresentado na Tabela 31.

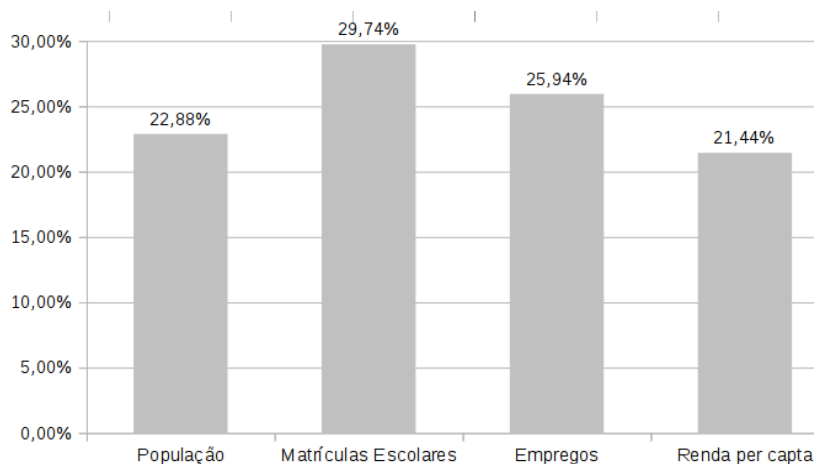


Figura 58: Relevâncias das variáveis de entradas, segundo método de Garson.

Média = 25,00% e desvio padrão = 3,68%

Fonte: desenvolvido pelo autor.

A Tabela 37 apresenta os resultados obtidos para essas duas novas arquiteturas propostas. Nela observa-se que os EQM percentuais obtidos foram de 0,086 para a Arq-31 e 3,662 para a Arq-32. Conforme apresentado na Tabela 31, o EQM percentual obtido pela Arq-03 foi de 0,078%; assim, comparando com os seus resultados, as arquiteturas Arq-31 e Arq-32 obtiveram resultados piores, aproximadamente em 10% e 4595%, respectivamente.

Tabela 37: Resumo dos resultados obtidos para as novas arquiteturas.

Arquitetura		Taxa de Aprendizagem/ Momento	Conjunto de Dados	Tempos [s]		EQM% Validação
Nº	N			Treinamento	Teste	
Arq-031	[3, 2, 1]	0,9/0,9	Dados 3	48,408	28,621	0,086
Arq-032	[2, 2, 1]	0,9/0,9	Dados 3	50,745	29,766	3,662

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

As Tabelas 38 e 39 apresentam os valores previstos na fase de validação das Arq-31 e 32. Com esses valores, foram calculados o coeficiente de Correlação ( $r$ ) e Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) para o modelo ideal, isto é, uma reta de 45° entre os eixos x (valores reais) e y (valores previstos).

Tabela 38: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-31.

Valores Previstos	0,146	0,145	0,174	0,160	0,190	0,160	0,152
Coeficiente de Correlação ( $r$ )			-0,180	Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )			0,032

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

Tabela 39: Valores previstos e coeficientes de correlação e determinação da reta de 45° da melhor Arq-32.

Valores Previstos	0,150	0,669	0,171	0,329	0,177	0,177	0,148
Coeficiente de Correlação (r)			0,631	Coeficiente de Determinação (R <sup>2</sup> )			0,228

Fonte: saídas do SciLab, adaptado pelo autor.

As Figuras 59 e 61 apresentam as curvas do erro em função de cada uma das épocas para as fases de treinamento e validação das arquiteturas Arq-31 e Arq-32. Já as Figuras 60 e 62 apresentam os gráficos de dispersão dos valores reais com os valores previstos na saída dos modelos neurais. Nestes gráficos foram ainda incorporados a reta de 45°, que representa o modelo ideal (EQM% = zero) e os coeficientes  $r$  e  $R^2$ .

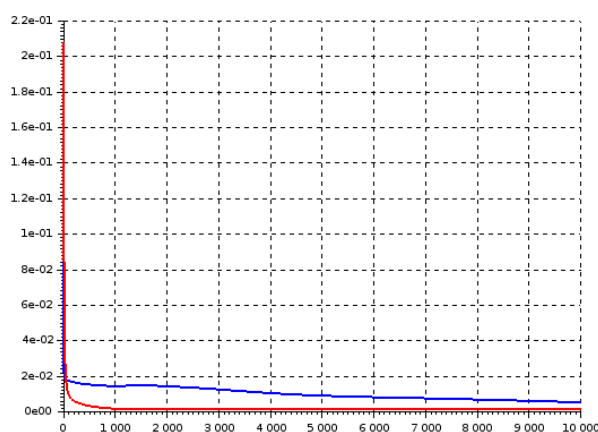


Figura 59: Erro x Época da melhor Arq-31.

Fonte: saída do SciLab.

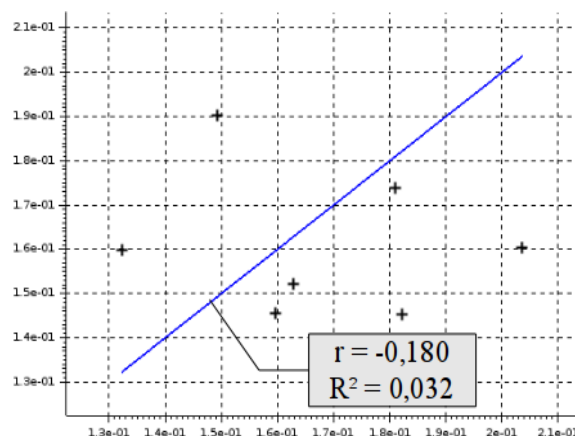


Figura 60: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-31.

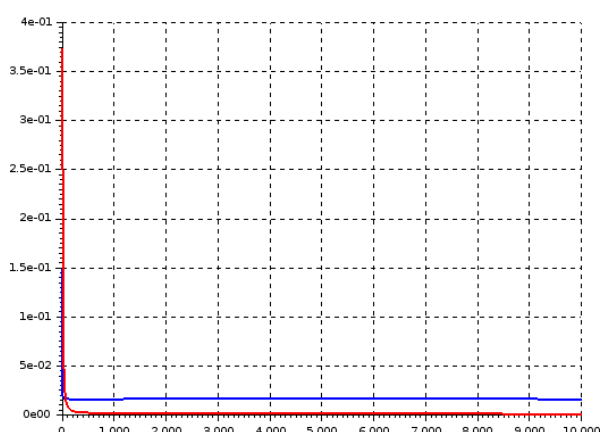


Figura 61: Erro x Época da melhor Arq-32.

Fonte: saída do SciLab.

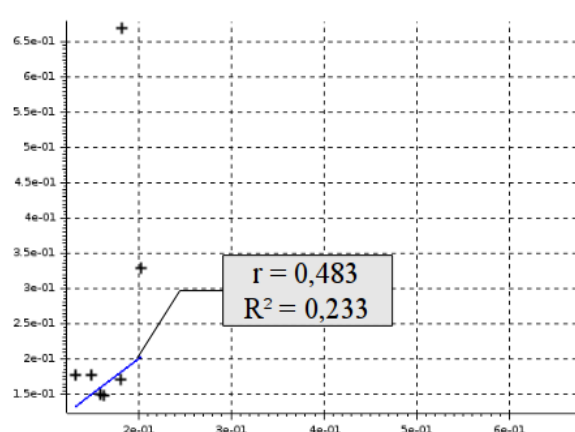


Figura 62: Gráfico de dispersão - valores reais x previstos da melhor Arq-32.

## 5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões e recomendações deste trabalho, além das contribuições para a prática profissional do modelo neural de previsão de demanda proposto.

### 5.1 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo geral a proposição de um modelo teórico de previsão de demanda baseado em RNA para utilização na fase de estudo de viabilidade econômico-financeiro de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos. De forma a atingir esse objetivo geral, quatro objetivos específicos foram propostos, sendo eles: a implementação e validação do modelo neural de previsão de demanda; a identificação das variáveis de entrada que influenciem a demanda de passageiros em empreendimentos de transporte sobre trilhos; a identificação das arquiteturas e algoritmos de treinamento de RNA para a previsão de demanda; e a identificação das atividades na fase de planejamento antecipado de projetos de empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos.

As arquiteturas propostas foram implementadas e validadas na ferramenta SciLab com o *toolbox* ANN. A Tabela 31 apresentou um resumo com os resultados das melhores arquiteturas obtidas em cada uma das configurações executadas, na qual se observa que a melhor arquitetura, dentre as propostas neste trabalho, foi a arquitetura 12 (Arq-12), obtendo um erro quadrático médio percentual de 0,045%.

A identificação das variáveis de entrada (variáveis independentes) para o modelo neural que explicam a demanda de passageiros (variável dependente) foi realizada por meio da análise dos resultados da PMU-RMSP de 2012, onde foi evidenciado que as variáveis: população na zona de tráfego; número de matrículas escolares; número de empregos; e renda per capita, poderiam explicar a demanda de usuários nas estações metroferroviárias. A Figura 31 e a Tabela 1 sustentam a escolha dessas variáveis; que parece ter sido acertada, uma vez que o resultado da análise de relevância das variáveis de entrada do modelo, por meio do método de Garson, apresentou percentuais de relevância próxima da média, conforme a Figura

58; bem como os resultados da validação das arquiteturas Arq-031 e Arq-032, nas quais foram retiradas as variáveis de entrada menos relevantes, resultando em aumentos expressivos do EQM%, quando comparados com a arquitetura original (Arq-03), conforme a Tabela 37.

A identificação das arquiteturas e algoritmos de treinamento de RNA ocorreu por meio da pesquisa bibliográfica do eixo teórico redes neurais artificiais; o delineamento do trabalho foi basicamente o adotado por Raia (2000). Foram propostos doze arquiteturas de RNA, sendo quatro, com uma camada oculta e oito, com duas camadas ocultas; elas foram selecionadas conforme as regras heurísticas apresentadas nas Fórmulas 4, 5 e 6; sendo todas do tipo MLP, com função de ativação *Sigmoidal* e algoritmo de aprendizado do tipo *Back-Propagation*.

A identificação das atividades na fase de planejamento antecipado de projetos foi realizada com a descrição da metodologia de gerenciamento de megaempreendimentos, conhecida como *Front-End Loading* (FEL), apresentada na Figura 14; mais especificamente na primeira das três fases dessa metodologia, a fase FEL-1, que trata da análise do negócio, verificando se o projeto em estudo está alinhamento à estratégia do negócio, por meio do desenvolvimento do *business case* e do estudo de viabilidade econômico-financeiro do projeto.

Desta forma, responde-se a questão principal de pesquisa deste trabalho, uma vez que os resultados dos modelos de previsão de demanda de entrada de passageiros em estações metroferroviárias propostos mostraram-se eficazes em suas previsões, evidenciado pelos EQM% obtidos; assim, eles podem contribuir para a gestão de projetos de empreendimentos de transporte de passageiros sobre trilhos, mais especificamente na fase FEL-1 da metodologia FEL, sendo uma ferramenta no estudo de viabilidade econômico-financeiro do projeto, que auxiliará na tomada de decisão de participação do parceiro privado no empreendimento.

Como recomendações para pesquisas futuras sugere-se: i) aplicar o modelo neural proposto, isto é, uma das arquiteturas já validadas neste trabalho, em alguma outra região que possua um sistema metroferroviário, de forma a verificar os resultados das previsões realizadas pelo modelo para esse sistema de forma a validá-lo fora da RMSP; ii) refazer as etapas de treinamento, teste e validação das arquiteturas propostas neste trabalho, utilizando agora dados da pesquisa O-D completa, uma vez que essa pesquisa possui um número muito maior de zonas de tráfegos (menos agregada), com isso, a quantidade de estações nessas zonas seriam menores e conseqüentemente haveria muito mais dados para o treinamento dos

modelos neurais, possibilitando provavelmente melhores resultados de previsão. A pesquisa O-D realizada em 2007 pelo Metrô-SP possui 460 zonas de tráfego enquanto a pesquisa utilizada neste trabalho possui apenas 31 zonas.

Apesar dos modelos terem sido treinados, testados e validados com dados da RMSP, acredita-se em sua validade em todo o território nacional, uma vez que os aspectos culturais quanto a utilização de transporte público pelo brasileiro parassem ser semelhantes.

## 5.2 CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA

Conforme ilustrado na Figura 7, a demanda de passageiros é uma variável utilizada em várias áreas do planejamento e projeto de empreendimentos de infraestrutura de transporte de passageiros, inclusive no estudo de viabilidade econômico-financeiro destes projetos. Desta forma, com os resultados dos modelos de previsão propostos neste trabalho, é possível prever essa demanda, isto é, a quantidade de usuários que utilizariam uma estação metroferroviária alocada na região metropolitana da cidade de São Paulo.

Com essa informação é possível estimar os custos de capital de investimento (CAPEX) e para operação e manutenção do sistema (OPEX), bem como a sua receita operacional, e assim montar o fluxo de caixa do projeto. Dai, utilizando alguma abordagem de análise, tal como o Fluxo de Caixa Descontado, a Teoria de Opções Reais, a Criação de Valor ao Acionista, entre outras, chegar-se a indicadores que possam servir como ferramenta de auxílio na tomada de decisão de investimento no projeto; tudo isso ainda na fase de concepção do empreendimento.

Para o parceiro privado isso pode ser um valioso conhecimento para a tomada de decisão de investimento de capital em um projeto de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos, principalmente na modalidade Parceria Público-Privada (PPP), e ainda nas Manifestações de Interesse Público (MIP), onde o setor privado identifica uma oportunidade e propõem um projeto ao setor público.

Conforme apresentado na Figura 3, em cerca de 10 anos da promulgação da Lei das PPP, apenas 14 projetos nesta modalidade obtiveram sucesso, isto é, tiveram seu contrato assinado. Assim, o modelo proposto neste trabalho é uma forma de diminuir o risco da demanda de passageiros, que é um dos principais riscos nessa modalidade de

empreendimento, e assim possibilitar a participação de mais parceiros privados no processo licitatório, possibilitando com isso uma maior concorrência e consequentemente maiores benefícios para o setor público e para a sociedade como um todo.

Os passos para utilização do modelo são:

- (a) Alocar as futuras estações nas zonas de tráfego da região em análise;
- (b) Para cada uma das zonas de tráfegos que possuir estações alocadas, levantar as variáveis de entrada do modelo: população; número de matrículas escolares; número de empregos; e renda per capita;
- (c) Para cada uma das futuras estações, aplicar as respectivas variáveis de entradas no modelo já validado, cuja saída será a demanda estimada na estação em análise;
- (d) Somar a demanda em cada uma das estações, obtendo assim a demanda da linha.

Com isto, esse trabalho contribui para a área de gestão de projetos, propondo um modelo de previsão de demanda de passageiros que pode ser utilizado na disciplina de finanças aplicadas em projetos.



## REFERÊNCIAS<sup>8</sup>

- Aguiar Júnior, S. R. de (2004). *Modelo RAPIDE: uma aplicação de mineração de dados e redes neurais artificiais para a estimativa da demanda por transporte rodoviário interestadual de passageiros no Brasil* (Dissertação de Mestrado em Gestão do Conhecimento e da Tecnologia da Informação). Universidade Católica de Brasília, Brasília.
- Akamine, A. (2005). *Explorando Alternativas para Construção de Modelos Neurais de Interação Espacial* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Alkaraan, F., & Northcott, D. (2006). Strategic capital investment decision-making: A role for emergent analysis tools?: A study of practice in large UK manufacturing companies. *The British Accounting Review*, 38(2), 149–173.
- Alvim, B. G., Bilt, K. V. de, & Darido, G. B. (2010). *Evolução e Tendências na Implantação e Financiamento dos Sistemas de Transporte Público Sobre Trilhos* (p. 51). São Paulo: Associação dos Engenheiros e Arquitetos de Metrô – AEAMESP.
- ANTP, A. N. de T. P., & World Bank, B. M. (Orgs.). (2012). *Sistemas Inteligentes de Transportes*.
- Assis, C. A. de. (2012). *Análise técnico-econômica em estágios preliminares de projeto de processos – estudo de caso : planta de ácido nítrico* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Atkinson, D. (2007). *Global new product introduction and development in the automotive sector* (Dissertação de Mestrado). University of Wolverhampton, Wolverhampton, Reino Unido.

---

<sup>8</sup> De acordo com o estilo APA – American Psychological Association – 6ª edição

- Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International journal of project management*, 17(6), 337–342.
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201–204.
- Bahia, F. D., & de Farias Filho, J. R. (2010). Análise de Critérios de Sucesso em Projetos de Engenharia, Suprimentos e Construção (EPC). *Revista de Gestão e Projetos*, 1(2), 49–67.
- Barros, L. A., & Mello, C. H. P. (2009). Análise de critérios de sucesso para a gestão de portfólio de projetos em uma multinacional da área química. In *Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais* (p. 16). São Paulo.
- Bittencout, F. R., & Zárate, L. E. (2011). Hybrid structure based on previous knowledge and GA to search the ideal neurons quantity for the hidden layer of MLP—Application in the cold rolling process. *Applied Soft Computing*, 11(2), 2460–2471.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *The journal of political economy*, 637–654.
- Bocanegra, C. W. R. (2002). *Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das redes neurais artificiais em planejamento de transportes*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Bonomi, C. A., & Malvessi, O. (2008). *Project Finance no Brasil: Fundamentos e estudo de casos*. Atlas.
- Bosch-Rekveltdt, M. G. C. (2011). *Managing project complexity: A study into adapting early project phases to improve project performance in large engineering projects* (Tese de Doutorado). Delft University of Technology, Delft -

Netherlands.

Braga, A. de P., Carvalho, A., & Ludermir, T. B. (2000). *Redes neurais artificiais: teoria e aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

Brandão, L. E. T., Bastian-Pinto, C. de L., Gomes, L. L., & Salgado, M. S. (2012). Incentivos governamentais em PPP: uma análise por opções reais. *Revista de Administração de Empresas*, 52(1), 10–23.

Brandão, L. E. T., & Saraiva, E. C. G. (2007). Risco privado em infra-estrutura pública: uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos. *RAP—Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro*, 41(6), 1035–67.

Brinco, R. (2012). Mobilidade urbana e transporte público: sobre a oportunidade de implantação de sistemas metroviários. *Indicadores Econômicos FEE*, 40(1), 105–116.

Brondino, N. C. M. (1999). *Estudo da influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos através do uso de redes neurais* (Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos.

Campos, L. C. de S., & Gomes, L. F. A. M. (2005). Avaliação de risco no transporte urbano: uma aplicação ao Metrô do Rio de Janeiro. *Revista de Administração Contemporânea*, 9(1), 103–124.

Campos, V. B. G. (2013). *Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos*. Rio de Janeiro: Interciência.

Carvalho, M. M. de, Lopes, P. V. B. V. L., & Marzagão, D. S. L. (2013). Gestão de portfólio de projetos: contribuições e tendências da literatura. *Gestão & Produção*, 20(2), 433–454.

Carvalho, M. M., & Rabechini, R. J. (2011). *Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos* (3º ed). São Paulo: Atlas.

- CNT. (2013, junho). Pesquisa CNT-IBOPE Manifestações de junho de 2013. Confederação Nacional do Transporte.
- Cooper, R. G. (2008). Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process—Update, What's New, and NexGen Systems\*. *Journal of Product Innovation Management*, 25(3), 213–232.
- Corrêa, F. (2008). *Aplicação de redes neurais artificiais no setor de transportes no Brasil* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Davis, M. M., Chase, R. B., & Aquilano, N. J. (2001). *Fundamentos Da Administração Da Produção*. Bookman.
- Demarchi, S. H., & Bertocini, B. V. (2004). Determinação de Matrizes OD Sintéticas a partir de Contagens Volumétricas. In *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* (p. 832–843). Florianópolis: ANTP.
- Dougherty, M. (1995). A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(4), 247–260.
- Duarte, E. J. (2008). Os estudos de previsão de demanda no Metrô SP. *Engenharia*, 587, 126–129.
- Dutra, C. C., Ribeiro, J. L. D., & Carvalho, M. M. de. (2014). An economic–probabilistic model for project selection and prioritization. *International Journal of Project Management*.
- Eric, I. P. (1995). *The Geography of Urban Transportation*. (S. Hanson, Org.) (2° ed). New York: Guilford Press.
- Fávero, L. P. L., Belfiore, P., Silva, F. L. da, & Chan, B. L. (2009). *Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões* (4° ed). Rio de Janeiro: Elsevier.
- Flyvbjerg, B. (2007). *Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other*

- Infrastructure* (arXiv e-print No. 1303.7402).
- Flyvbjerg, B. (2013). Quality control and due diligence in project management: Getting decisions right by taking the outside view. *International Journal of Project Management*, 31(5), 760–774.
- Fouto, N. M. M. D., de Angelo, C. F., Zwicker, R., & Luppe, M. R. (2011). Séries temporais e redes neurais: uma análise comparativa de técnicas na previsão de vendas do varejo brasileiro. *BBR-Brazilian Business Review*, 8(2), 1–21.
- Freiman, J. P. (2004). *Utilização de Redes Neurais Artificiais na Previsão de Indicadores Financeiros para Avaliação Econômica de Negócios em Situação de Risco* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (Orgs.). (2009). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Gibson Jr., G. E., Yu-Ren Wang, Chung-Suk Cho, & Pappas, M. P. (2006). What Is Preproject Planning, Anyway? *Journal of Management in Engineering*, 22(1), 35–42.
- Gil, A. C. (2002). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa* (4º ed). São Paulo: Atlas.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6º ed). São Paulo: Atlas.
- Gonçalves, H. M. (2009). *Postponement de forma como fator crítico no desenvolvimento de um produto customizável* (Dissertação de Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Graham, J., & Harvey, C. (2002). How do CFOs make capital budgeting and capital structure decisions? *Journal of Applied Corporate Finance*, 15(1), 8–23.
- Grau, N. (2013). Standards and Excellence in Project Management – In Who Do We Trust? *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 74, 10–20.
- Grilo, L. M. (2008, maio 16). *Modelo de análise da qualidade do investimento para projetos de parceria público-privada (PPP)*. (Tese de Doutorado em

- Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Grilo, L., Melhado, S., Silva, S. A. R., Hardcastle, C., & Junior, A. B. P. (2004). A implementação de Parcerias Público-Privadas como alternativa para a provisão de infra-estrutura e serviços públicos no Brasil: visão geral. *Revista Brasil Engenharia*, (565), 78–86.
- Grimsey, D., & Lewis, M. K. (2002). Evaluating the risks of public private partnerships for infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 20(2), 107–118.
- Hair, J. F. J., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2005). *Análise multivariada de dados* (5º ed). Porto Alegre: Bookman.
- Hall, D., & Hulett, D. (2002). *Universal risk project final report*. Milford, NH: INCOSE RMWG, PMI RiskSIG.
- Hass, K. B. (2009). *Managing complex projects: A new model*. Leesburg Pike-Vienna: Management Concepts Inc.
- Hayford, O., & Partner, C. U. (2006). Successfully allocating risk and negotiating a PPP contract. *Proceedings of 6th Annual National Public Private Partnerships Summit: Which Way Now for Australia's PPP Market? Rydges Jamison, Sydney, Australia*.
- Haykin, S. (2001). *Redes Neurais-principios e prática* (2º ed). Porto Alegre, RS: Bookman.
- Hristev, R. M. (1998). *The ANN book* (Vol. 71).
- Ibbs, C. W., & Kwak, Y. H. (2000). Assessing project management maturity. *Project Management Journal*, 31(1), 32–43.
- IBM. (2010). IBM Global Commuter Pain Study Reveals Traffic Crisis in Key International Cities [CTB10].
- IIBA. (2011). *Um guia para o Corpo de Conhecimento de Análise de Negócios(TM)*

- (*Guia BABOK®*). IIBA.
- IPMA. (2006). *ICB-IPMA Competence Baseline* (3.0 ed). Nijkerk, The Netherlands: Association International Project Management.
- Jergeas, G. (2008). Analysis of the front-end loading of Alberta mega oil sands projects. *Project Management Journal*, 39(4), 95–104.
- Jin, X.-H., & Zhang, G. (2011). Modelling optimal risk allocation in PPP projects using artificial neural networks. *International Journal of Project Management*, 29(5), 591–603.
- Kerzner, H. (2011). *Gerenciamento de projetos – uma abordagem sistêmica para planejamento, programação e controle*. Edgard Blucher.
- Kovács, Z. L. (2002). *Redes Neurais Artificiais*. Editora Livraria da Física.
- Krüger, N. A. (2012). Estimating traffic demand risk—A multiscale analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1741–1751.
- Laiza, M. C. de M., Duarte, E. J., Silva, C. V. G. da, Rubira, J. A. de C., & Bueno, J. de F. (2008). Os estudos de previsão de demanda no Metrô SP. *Engenharia*, 587, 122–125.
- Leurent, F. (2011). Transport capacity constraints on the mass transit system: a systemic analysis. *European Transport Research Review*, 3(1), 11–21.
- Lourencetti, F. H. (2011). *Estudo da reprodução do comportamento hidráulico de sistemas de abastecimento de água via redes neurais artificiais (RNAs)*. Universidade de São Paulo.
- Marar, J. R., Aragão, J. J. G., & Santos, E. M. (2004). Licitação para contratação de parcerias público-privadas em infra-estrutura de transportes no Brasil. In *anpet— Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes* (vol. 18, p. 1393–1404). Florianópolis.
- Marques Junior, L. J. (2009). *Abordagem contingencial estruturada de gestão eo*

- sucesso ou fracasso de projetos complexos e incertos em empresas no Brasil* (Tese de Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Martins, G. de A., & Theóphilo, C. R. (2009). *Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas* (2º ed). São Paulo: Atlas.
- Massa, A. O. N. (2011). *Uso da teoria de opções reais para valoração de garantias governamentais em projetos de infra-estrutura: uma aplicação no caso do trem de alta velocidade entre Rio de Janeiro e São Paulo* (Dissertação de Mestrado em Administração). Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Merrow, E. W. (2011). *Industrial megaprojects: concepts, strategies, and practices for success*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Merton, R. C. (1973). Theory of rational option pricing.
- Metrô. (2012). *Metrô São Paulo | Relatório Sustentabilidade* (Gerencial). São Paulo.
- Metrô. (2013a). *Guia de gestão de empreendimentos de expansão*. São Paulo: Cia. do Metropolitano de São Paulo.
- Metrô. (2013b). *Pesquisa de mobilidade urbana da região Metropolitana de São Paulo* (p. 72). São Paulo: Metrô.
- Metrô. (2013c). *Relatório de Sustentabilidade 2012* (p. 95). São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo.
- Millones, G. M. (2010). *Breaking Down Factors of Public-Private Partnership in Urban Rail: Experience from Latin American Cases* (Dissertação de Mestrado). Delft University of Technology, Delft - Netherlands.
- Moraes, F. R. G. (2010). *Contribuição ao Estudo da Concepção de Projetos de Capital em Mega Empreendimentos* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.



- Motta, O. M. (2013). *Estudo de práticas com ênfase na estratégia empresarial para a gestão de megaprojetos: o caso das organizações envolvidas com engenharia e construção* (Dissertação de Mestrado em Sistemas de Gestão). Niterói.
- Mulisani, R. V. (2013). *Os principais fatores de risco nas diferentes fases do ciclo de vida dos projetos de capital em uma empresa de mineração nacional de grande porte*. (Dissertação de Mestrado em Administração – Gestão de Projetos). Universidade Nove de Julho, São Paulo.
- Murça, M. C. R., & Müller, C. (2014). Urban public transportation: a demand analysis for the city of Salvador. *Journal of Transport Literature*, 8(1), 265–284.
- Nagai, E. Y. (2006). *Identificação automática de modelos fuzzy inferenciais* (Tese de Doutorado em Ciências). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Neto, C., & Figueiredo, J. (2009). *Elaboração e Avaliação de Projetos de Investimento*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Nóbrega, M. (2010). Riscos em projetos de infraestrutura: incompletude contratual; concessões de serviço público e PPPs. *Revista brasileira de direito público*, 8(28), 69–92.
- Oliveira, F. N. de, & Carvalho, M. M. de. (2008). Uso de Opções Reais para Precificação das Garantias de Contratos: o Caso do Expresso Aeroporto. *Revista de Economia e Administração*, 7(1), 32.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4º ed). Wiley.
- Padula, R. (2008). *Infra-estrutura I: Transportes*. Brasília: CONFEA.
- Pastori, A. (2007a). As PPPs como ferramenta para viabilizar projetos de infraestrutura de transporte de passageiros sobre trilhos. *Revista do BNDES*, 14(28), 93–120.

- Pastori, A. (2007b). *As PPPs como Ferramenta para Viabilizar Projetos de Infra-Estrutura Ferroviária Um estudo para reativação do trem de passageiros Rio-Petrópolis (Trem da Serra)*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Candido Mendes, RJ.
- Patah, L. A., & Carvalho, M. M. de. (2012). Métodos de Gestão de Projetos e Sucesso dos Projetos: Um Estudo Quantitativo do Relacionamento entre estes Conceitos. *Revista de Gestão e Projetos - GeP*, 3(2), 178–206.
- Pereira, L. C. N. (2013). *Metodologias de gestão de projetos complexos: estudo sobre sua aplicabilidade na PETROBRAS* (Dissertação de Mestrado em Administração). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Perminova, O., Gustafsson, M., & Wikström, K. (2008). Defining uncertainty in projects—a new perspective. *International Journal of Project Management*, 26(1), 73–79.
- PMI. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide* (5º ed). Pennsylvania: Project Management Institute, Incorporated.
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico* (2º ed, Vol. 61). Novo Hamburgo.
- Rabechini Junior, R., & Carvalho, M. M. de. (2012). Relacionamento entre gerenciamento de risco e sucesso de projetos. *Produção*, (ahead), 12.
- Raia Junior, A. A. (2000). *Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas*. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Ramos, R. (2006). *Gerenciamento de projetos: ênfase na indústria de petróleo*. Rio

de Janeiro: Interciência.

Resende, P. T. V., & Sousa, P. R. (2009). Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: um estudo sobre os impactos do congestionamento. In *Simpo – Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais*, FGV.

Resende, P. T. V., & Sousa, P. R. (2009). Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: um estudo sobre os impactos do congestionamento. *Simpoi – Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais*, FGV.

Ribeiro, R. L. O. (2011). *Gerenciando Projetos com PRINCE2*. Brasport.

Ribeiro, R. L. O., Valle, A. B. do, Soares, C. A. P., & Santos, J. A. N. dos. (2013). From idea to benefit: project portfolio management using front end loading, the standard for portfolio management and PRINCE2. *International Journal of Management (IJM)*, p. 60–68.

Rolstada as, A., Hetland, P. W., Jergeas, G. F., & Westney, R. E. (2011). *Risk Navigation Strategies for Major Capital Projects*. London: Springer-Verlag.

Rovai, R. L. (2005). *Modelo estruturado para gestão de riscos em projetos: estudo de múltiplos casos* (Tese de Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Sagan, C. (1996). *O mundo assombrado por demônios*. São Paulo: Cia das Letras.

Sales, O. P., & Canciglieri Junior, O. (2011). Proposta conceitual para o desenvolvimento de produtos no segmento de telecomunicações – uma abordagem comparativa utilizando os processos de tomada de decisões “Funil” e “Stage – Gate”. Apresentado em XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte – MG.

Santos, I. L. P. dos, & Ferreira, A. A. (2012). *Como Implantar Projetos*

*Metroferroviários*. Apresentado em 18º Semana de Tecnologia

Metroferroviária, São Paulo.

- Saraiva, E. C. G. (2008). *Projetos de infraestrutura pública: risco, incerteza e incentivos* (Tese (Doutorado) em Economia). Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro.
- Sharma, A., & Chopra, A. (2013). Artificial Neural Networks: Applications In Management. *Journal of Business and Management*, 12(5), 32–40.
- Shenhar, A. J., & Dvir, D. (2010). *Reinventando gerenciamento de projetos – A abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos*. São Paulo: Harvard Business School Press - M. Books.
- Silva, C. B. P. da, Saldiva, P. H. N., Amato-Lourenço, L. F., Rodrigues-Silva, F., & Miraglia, S. G. E. K. (2012). Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 101, 191–196.
- Stonner, R. (2001). *Ferramentas de planejamento: utilizando o MS Project para gerenciar empreendimentos*. Rio de Janeiro: Editora E-papers.
- Talamini, E., & Justen, M. S. (Orgs.). (2005). *Parcerias Público-privadas: Um Enfoque Multidisciplinar*. Revista dos Tribunais.
- Telles, R. (2001). A efetividade da matriz de amarração de Mazzon nas pesquisas em Administração. *Revista de Administração da Universidade de São Paulo*, 36(4).
- Thamer, R. (2013). *Projetos de Parceria Público-Privada: fatores que influenciam o sucesso dessas iniciativas* (Dissertação de Mestrado em Administração). Insper – Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo.
- Thamhain, H. (2013). Managing risks in complex projects. *Project Management Journal*, 44(2), 20–35.

- Titman, S., & Martin, J. D. (2010). *Avaliação de projetos e investimentos*. Porto Alegre: Bookman.
- Vale. (2011). *Metodologia FEL* (p. 40). Rio de Janeiro: Vale S.A.
- Vasconcellos, E. A. de. (2006). *Transporte e meio ambiente* (Vol. 5). São Paulo: Annablume Editora.
- Vasconcellos, E. A. de, & Lima, I. M. O. (1998). Redução das deseconomias urbanas pela melhoria do transporte público. *IPEA/ANTP. Brasília*.
- Viglioni, G. M. C. (2008, abril). Comparação entre redes neurais e técnicas clássicas para previsão de demanda de transporte ferroviário. *Revista de Inteligência Computacional Aplicada (RICA)*, (1).
- Villamagna, M. R. (2013). *Seleção de modelos de séries temporais e redes Neurais artificiais na previsão de consumo e demanda De energia elétrica* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- Wideman, R. M. (1992). *Project and program risk management: a guide to managing project risks and opportunities*. Project Management Institute.
- Willoughby, C. (2013). How much can public private partnership really do for urban transport in developing countries? *Research in Transportation Economics*, 40(1), 34–55.
- Woodland, D. (2004). IRSE Technical Meeting 2004/2005. In IRSE (Org.), *Railway Control Philosophy* (p. 27–42). London: Institution of Railway Signal Engineers – IRSE.
- Yamashina, H., Ito, T., & Kawada, H. (2002). Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ. *International Journal of Production Research*, 40(5), 1031–1050.
- Zhao, N. (2013). *Railway traffic flow optimisation with differing control systems* (Tese de Pós-Doutoramento). University of Birmingham, Birmingham – UK.

## ANEXOS

## ANEXO A – Layout do banco de dados da PMU-RMSP 2012

## LAYOUT DO BANCO DE DADOS DA PESQUISA DE MOBILIDADE 2012

Variável	Conteúdo	Início	Fim	Compr	Códigos
1 ZONA	Zona do Domicílio	1	2	2	1 a 31
2 MUNI_DOM	Município de Domicílio	3	4	2	1 a 39
3 CO_DOM_X	Coordenada X Domicílio	5	16	12	12 dígitos 2 casas decimais
4 CO_DOM_Y	Coordenada Y Domicílio	17	28	12	12 dígitos 2 casas decimais
5 ID_DOM	Identifica Domicílio	29	35	7	
6 F_DOM	Identifica Primeiro Registro do Domicílio	36	36	1	0 - Demais Registros 1- Primeiro Registro do Domicílio
7 FE_DOM	Fator de Expansão do Domicílio	37	48	12	10 dígitos 6 casas decimais
8 DOM	Número do Domicílio	49	52	4	
9 CD_ENTRE	Código de Entrevista	53	53	1	5 - Completa sem Viagem 6 - Completa com Viagem
10 DATA	Data da Entrevista	54	61	8	
11 TIPO_DOM	Tipo de Domicílio	62	62	1	1 – Particular 2 – Coletivo 3 – Favela
12 NO_MORAD	Total de Moradores no Domicílio	63	64	2	
13 TOT_FAM	Total de Famílias no Domicílio	65	65	1	
14 ID_FAM	Identifica Família	66	70	5	
15 F_FAM	Identifica Primeiro Registro da Família	71	71	1	0 - Demais Registros 1- Primeiro Registro da Família
16 FE_FAM	Fator de Expansão da Família	72	83	12	12 dígitos 6 casas decimais
17 FAMILIA	Número da Família	84	84	1	
18 NO_MORAF	Total de Moradores na Família	85	86	2	
19 QT_RADIO	Rádio	87	87	1	
20 QT_GEL1	Geladeira de 1 porta	88	88	1	
21 QT_GEL2	Geladeira de 2 portas	89	89	1	
22 QT_TVCOR	Tv. a Cores	90	90	1	
23 QT_FREEZ	Freezer	91	91	1	
24 QT_VIDEO	Vídeo Cassete/DVD	92	92	1	
25 QT_BANHO	Banheiro	93	93	1	
26 QT_MOTO	Motocicleta	94	94	1	
27 QT_AUTO	Automóvel	95	95	1	
28 QT_ASPIR	Aspirador de Pó/ Vaporeto	96	96	1	
29 QT_MLAVA	Máquina de Lavar Roupas	97	97	1	
30 QT_EMPRE	Empregado Doméstico Mensalista	98	98	1	
31 QT_BICICLE	Bicicleta	99	99	1	
32 NAO_DCL_IT	Código de Declaração de Itens de Conforto	100	100	1	
33 CRITERIO_B	Critério de Classificação Econômica Brasil	101	101	1	1 – A1 2 – A2 3 – B1 4 – B2 5 – C1 6 – C2 7 – D 8 – E
34 ANO_AUTO1	Ano Fabricação - Auto 1	102	105	4	
35 ANO_AUTO2	Ano Fabricação - Auto 2	106	109	4	
36 ANO_AUTO3	Ano Fabricação - Auto 3	110	113	4	
37 RENDA_FA	Renda Familiar	114	123	10	10 dígitos 2 casa decimais
38 CD_RENFA	Código de Renda Familiar	124	124	1	1 - Renda Familiar Declarada e Maior que Zero 2 – Renda Familiar Declarada como Zero 3 - Renda Atribuída pelo Critério Brasil 4 - Renda Atribuída pela Média da Zona

## (Continuação ...) ANEXO A – Layout do banco de dados da PMU-RMSP 2012

39	ID_PESS	Identifica Pessoa	125	130	6	
40	F_PESS	Identifica Primeiro Registro da Pessoa	131	131	1	0 - Demais registros 1 - Primeiro registro da pessoa
41	FE_PESS	Fator de Expansão da Pessoa	132	143	12	12 dígitos 6 casas decimais
42	PESSOA	Número da Pessoa	144	145	2	
43	SIT_FAM	Situação Familiar	146	146	1	1 – Pessoa Responsável 2 – Cônjuge/Companheiro(a) 3 – Filho(a)/Enteado(a) 4 - Outro Parente 5 - Agregado 6 - Empregado Residente 7 - Parente do Empregado
44	IDADE	Idade	147	148	2	(anos)
45	SEXO	Gênero	149	149	1	1 - Masculino 2 - Feminino
46	ESTUDA	Estuda Atualmente?	150	150	1	1 - Não 2 - Creche/Pré-Escola 3 - 1º Grau /Fundamental 4 - 2º Grau/Médio 6 – Superior/Universitário 7 - Outros
47	GRAU_INS	Grau de Instrução	151	151	1	1 - Não-Alfabetizado/Primário Incompleto 2 - Primário Completo/Ginásio Incompleto 3 - Ginásio Completo/Colegial Incompleto 4 - Colegial Completo/Superior Incompleto 5 - Superior Completo
48	CD_ATIVI	Condição de Atividade	152	152	1	1 - Tem trabalho 2 - Faz bico 3 - Em Licença Médica 4 - Aposentado/Pensionista 5 - Sem Trabalho 6 - Nunca Trabalhou 7 - Dona de Casa 8 - Estudante
49	CO_REN_I	Condição de Renda Individual	153	153	1	1 - Tem Renda 2 - Não Tem Renda 3 - Não Respondeu
50	VL_REN_I	Renda Individual	154	159	6	6 dígitos
51	ZONA_ESC	Zona da Escola	160	161	2	1 a 31
52	MUNIESC	Município da Escola	162	163	2	1 a 39
53	CO_ESC_X	Coordenada X Escola	164	175	12	12 dígitos 2 casas decimais
54	CO_ESC_Y	Coordenada Y Escola	176	187	12	12 dígitos 2 casas decimais
55	TIPO_ESC	Tipo de Escola	188	188	1	1 - Pública 2 - Particular
56	ZONATRA1	Zona do Primeiro Trabalho	189	190	2	1 a 31
57	MUNITRA1	Município do Primeiro Trabalho	191	192	2	1 a 39
58	CO_TR1_X	Coordenada X 1º Trabalho	193	204	12	12 dígitos 2 casas decimais
59	CO_TR1_Y	Coordenada Y 1º Trabalho	205	216	12	12 dígitos 2 casas decimais
60	TRAB1_RE	Primeiro Trabalho é igual a Residência ?	217	217	1	1 - Sim 2 - Não 3 – Sem endereço fixo
61	TRABEXT1	Realiza Trabalho Externo-1º Trabalho	218	218	1	1 - Sim 2 - Não
62	OCUP1	Ocupação do 1º Trabalho	219	221	3	
63	SETOR1	Setor de Atividade do 1º Trabalho	222	223	2	
64	VINC1	Vínculo Empregatício do 1º Trabalho	224	224	1	1 - Assalariado com carteira 2 - Assalariado sem carteira 3 - Funcionário Público 4 - Autônomo 5 - Empregador 6 - Profissional Liberal 7 – Dono de Negócio Familiar 8 - Trabalho Familiar
65	ZONATRA2	Zona do Segundo Trabalho	225	226	2	1 a 31
66	MUNITRA2	Município do Segundo Trabalho	227	228	2	1 a 39
67	CO_TR2_X	Coordenada X 2º Trabalho	229	240	12	12 dígitos 2 casas decimais
68	CO_TR2_Y	Coordenada Y 2º Trabalho	241	252	12	12 dígitos 2 casas decimais
69	TRAB2_RE	Segundo Trabalho é igual a Residência ?	253	253	1	1 - Sim 2 - Não

## (Continuação ...) ANEXO A – Layout do banco de dados da PMU-RMSP 2012

						3 – Sem endereço fixo
70	TRABEXT2	Realiza Trabalho Externo 2º Trabalho	254	254	1	1 - Sim
						2 - Não
71	OCUP2	Ocupação do 2º Trabalho	255	257	3	
72	SETOR2	Setor de Atividade do 2º Trabalho	258	259	2	
73	VINC2	Vínculo Empregatício do 2º Trabalho	260	260	1	idem ao 1º Trabalho
74	N_VIAG	Número da Viagem	261	262	2	
75	FE_VIA	Fator de Expansão da Viagem	263	274	12	12 dígitos 6 casas decimais
76	DIA_SEM	Dia da Semana	275	275	1	2 - Segunda-Feira
						3 - Terça-Feira
						4 - Quarta-Feira
						5 - Quinta-Feira
						6 - Sexta-Feira
77	TOT_VIAG	Total de Viagens da Pessoa	276	277	2	
78	ZONA_O	Zona de Origem	278	279	2	1 a 31
79	MUNI_O	Município de Origem	280	281	2	1 a 39
80	CO_O_X	Coordenada X Origem	282	293	12	12 dígitos 2 casas decimais
81	CO_O_Y	Coordenada Y Origem	294	305	12	12 dígitos 2 casas decimais
82	ZONA_D	Zona de Destino	306	307	2	1 a 31
83	MUNI_D	Município de Destino	308	309	2	1 a 39
84	CO_D_X	Coordenada X Destino	310	321	12	12 dígitos 2 casas decimais
85	CO_D_Y	Coordenada Y Destino	322	333	12	12 dígitos 2 casas decimais
86	ZONA_T1	Zona da 1ª Transferência	334	335	2	1 a 31
87	MUNI_T1	Município 1ª Transferência	336	337	2	1 a 39
88	CO_T1_X	Coordenada X 1ª Transferência	338	349	12	12 dígitos 2 casas decimais
89	CO_T1_Y	Coordenada Y 1ª Transferência	350	361	12	12 dígitos 2 casas decimais
90	ZONA_T2	Zona da 2ª Transferência	362	363	2	1 a 31
91	MUNI_T2	Município 2ª Transferência	364	365	2	1 a 39
92	CO_T2_X	Coordenada X 2ª Transferência	366	377	12	12 dígitos 2 casas decimais
93	CO_T2_Y	Coordenada Y 2ª Transferência	378	389	12	12 dígitos 2 casas decimais
94	ZONA_T3	Zona da 3ª Transferência	390	391	2	1 a 31
95	MUNI_T3	Município 3ª Transferência	392	393	2	1 a 39
96	CO_T3_X	Coordenada X 3ª Transferência	394	405	12	12 dígitos 2 casas decimais
97	CO_T3_Y	Coordenada Y 3ª Transferência	406	417	12	12 dígitos 2 casas decimais
98	MOTIVO_O	Motivo na Origem	418	419	2	1 - Trabalho/Indústria
						2 - Trabalho/Comércio
						3 - Trabalho/Serviços
						4 - Educação
						5 - Compras
						6 - Saúde
						7 - Lazer
						8 - Residência
						9 – Procurar Emprego
						10 – Assuntos Pessoais
99	MOTIVO_D	Motivo no Destino	420	421	2	idem ao anterior
100	SERVIR_O	Servir Passageiro na Origem	422	422	1	1 - Sim
						2 - Não
101	SERVIR_D	Servir Passageiro no Destino	423	423	1	1 - Sim
						2 - Não
102	MODO1	Modo 1	424	425	2	01 – Ônibus Município S.Paulo
						02 – Ônibus Outros Municípios
						03 – Ônibus Metropolitano
						04 - Ônibus Fretado
						05 - Escolar
						06 - Dirigindo Automóvel
						07 - Passageiro de Automóvel
						08 - Táxi
						09 – Microônibus/Van Município de S.Paulo
						10 – Microônibus/Van Outros Município
						11 – Microônibus/Van Metropolitano
						12 - Metrô
						13 - Trem
						14 - Moto
						15 - Bicicleta
						16 - A Pé
						17 - Outros
103	MODO2	Modo 2	426	427	2	idem ao anterior
104	MODO3	Modo 3	428	429	2	idem ao anterior
105	MODO4	Modo 4	430	431	2	idem ao anterior



## (Continuação ...) ANEXO A – Layout do banco de dados da PMU-RMSP 2012

106	H_SAIDA	Hora Saída	432	433	2	Hora de Saída
107	MIN_SAIDA	Minuto Saída	434	435	2	Minuto de Saída
108	ANDA_O	Tempo Andando na Origem	436	437	2	Em minutos
109	H_CHEG	Hora Chegada	438	439	2	Hora de Chegada
110	MIN_CHEG	Minuto Chegada	440	441	2	Minuto de Chegada
111	ANDA_D	Tempo Andando no Destino	442	443	2	Em minutos
112	DURACAO	Duração da Viagem	444	446	3	Em minutos
113	MODOPRIN	Modo Principal	447	448	2	01 – Ônibus Município S.Paulo
						02 – Ônibus Outros Municípios
						03 – Ônibus Metropolitano
						04 - Ônibus Fretado
						05 - Escolar
						06 - Dirigindo Automóvel
						07 - Passageiro de Automóvel
						08 - Táxi
						09 – Microônibus/Van Município de S.Paulo
						10 – Microônibus/Van Outros Município
						11 – Microônibus/Van Metropolitano
						12 - Metrô
						13 - Trem
						14 - Moto
						15 - Bicicleta
						16 - A Pé
						17 - Outros
114	TIPOVG	Tipo de Viagem	449	449	1	1 - Coletivo
						2 - Individual
						3 - A pé
						4 - Bicicleta
115	DISTANCIA	Distância em linha reta da origem ao destino	450	455	6	Em metros
116	ID_ORDEM	Número de Ordem do Registro	456	461	6	1 a 53.505

## APENDICE

### APENDICE A – *script* GeraDados.sce.

```
//realiza o pré-processamento dos dados (normalização e geração dos conjuntos de dados).
exec('/path/embaralhar_2206.sci', -1)
//Leitura dos dados sem pre-processamento
dados = fscanfMat('/path/dados.csv');
//ND = nº de dados
[L,ND]=size(dados);
//-----
//Normalização dos dados
a=0.1;
b=0.9;
dados_norm=dados;
//Encontra os valores máximo e mínimo por linha
for j=2:L
    xmax=max(dados(j,:))
    xmin=min(dados(j,:))
    dados_norm(j,:)=(b-a)*[(dados(j,:)-xmin)/(xmax-xmin)]+a;
end;
//-----
//Mistura aleatoriamente os dados
dados_1=embaralhar(dados_norm);
dados_2=embaralhar(dados_norm);
dados_3=embaralhar(dados_norm);
//50% para treinamento
ND_trein=int(ND*0.5);
//25% para testes
ND_teste=int(ND*0.25);
//~25% (restante) para validação
ND_valid=ND-ND_trein-ND_teste;
disp(ND, 'Qde de dados=')
disp(ND_trein, '#treinamento')
disp(ND_teste, '#Testes')
disp(ND_valid, '# validação')
//-----
//Primeiro conjunto de dados
trein_1= dados_1(1:L,1:ND_trein);
teste_1= dados_1(1:L,ND_trein+1:ND_trein+ND_teste);
valid_1= dados_1(1:L,ND_trein+ND_teste+1:ND);
//-----
//Segundo conjunto de dados
trein_2= dados_2(1:L,1:ND_trein);
teste_2= dados_2(1:L,ND_trein+1:ND_trein+ND_teste);
valid_2= dados_2(1:L,ND_trein+ND_teste+1:ND);
```

```
//-----  
//Terceiro conjunto de dados  
trein_3= dados_3(1:L,1:ND_trein);  
teste_3= dados_3(1:L,ND_trein+1:ND_trein+ND_teste);  
valid_3= dados_3(1:L,ND_trein+ND_teste+1:ND);  
//-----
```

# APENDICE B – script Treinamento.sce

```
//realiza o treinamento da Arq-12, com o conjunto de dados 3
//Carrega toolbox de redes neurais
exec('/path/ANN_Toolbox/loader.sce', -1)
//Arquitetura da rede
disp('Rede Neural ');
//Arq-12
N=[4,5,10,1];
disp(N,'Arquitetura');
rand('seed',0);
//Parâmetros do treinamento
aprendizagem = 0.9;
momentum = 0.9;
disp(aprendizagem,'Aprendizagem');
disp(momentum,'Momento');
lp = [aprendizagem, 0, momentum, 0];
T = 10000;//epocas
tol = 0.0001;//tolerancia
contT = 1;//contador de epocas
erroQ = tol;
Erroepoca = [];
disp('Inicializando a rede...');
//Comandos para contar tempo de máquinas/relógio
tic();
timer();
//-----
W = ann_FF_init(N);//Inicializa a rede
disp('Treinando a rede...');
//Entradas
X=trein_3(2:5,:);
//Saidas
Y=trein_3(6,:);
while ( (contT <= T) & (erroQ >= tol) ) do
    W = ann_FF_Mom_online(X,Y,N,W,lp,1);//Pesos
    Y0 = ann_FF_run(X,N,W);
    val = Y - Y0;
    for i = 1 : size(val,1)
        for j = 1 : size(val,2)
            val(i,j) = (val(i,j))^2;
        end
    end
    val = sum(val);//val^2
    erroQ = val;
    Erroepoca = [Erroepoca erroQ];
    E = ann_sum_of_sqr(Y0,Y);
    contT = contT + 1;
end
```

```

disp('Fim');
disp (tempo=toc(), 'Tempo em segundos');
disp(timer(),'tempo CPU')
W_trein=W;
Erroepocat_trein=Erroepoca;
E_trein=E;
Y0_trein=Y0;
disp(2*E_trein*100/length(Y), 'EQM%')
epoca=1:T;
//-----
scf(1);
clf
xlabel("Épocas","fontsize",4,"color","black");
ylabel("Erro","fontsize",4,"color","black");
aux=get("current_axes");
aux.thickness=2;
plot2d(epoca,Erroepocat_trein,style=color("blue"))

```

# APENDICE C – script Teste.sce

```
//realiza o teste da Arq-12, com o conjunto de dados 3
T = 10000;//epocas
tol = 0.0001;//tolerancia
contT = 1;//contador de epocas
erroQ = tol;
Erroepoca = [];
X=teste_3(2:5,)//Entradas
Y=teste_3(6,)//Saidas
//-----
tic();
timer();
disp('Testando a rede...');
//-----
clear Y0;
while ( (contT <= T) & (erroQ >= tol) ) do
    W = ann_FF_Mom_online(X,Y,N,W,lp,1);//Pesos
    Y0 = ann_FF_run(X,N,W);
    val = Y - Y0;
    for i = 1 : size(val,1)
        for j = 1 : size(val,2)
            val(i,j) = (val(i,j))^2;
        end
    end
    val = sum(val);
    erroQ = val;
    Erroepoca = [Erroepoca erroQ];
    E = ann_sum_of_sqr(Y0,Y);
    contT = contT + 1;
end
disp('Fim');
disp (tempo=toc(), 'Tempo em segundos');
disp(timer(),'tempo CPU')
plot2d(epoca,Erroepoca)
W_teste=W;
Erroepoca_teste=Erroepoca;
E_teste=E;
Y0_teste=Y0;
disp(E_teste*100, 'Erro%')
scf(2);//Nova Janela
plot2d(epoca,Erroepoca_teste)
```

# APENDICE D– script Validacao.sce

```
//realiza a validação da Arq-12, com o conjunto de dados 3
exec('/path/Desnormalizar.sci', -1)
X=valid_2(2:5,)//Entradas
Y=valid_2(6,)//Saidas Reais
```

```

//-----
tic();
timer();
disp('Validando a rede...');
//-----
clear Y0;
Y0 = ann_FF_run(X,N,W);
val = Y - Y0;
for i = 1 : size(val,1)
    for j = 1 : size(val,2)
        val(i,j) = (val(i,j))^2;
    end
end
val = sum(val);
erroQ = val;
E = ann_sum_of_sqr(Y0,Y);
disp('Fim');
disp (tempo=toc(), 'Tempo em segundos');
disp(timer(),'tempo CPU')
E_valid=E;
Y0_valid=Y0;
disp(E_valid*100, 'Erro%')

```

# APENDICE E – *script* Dispersao.sce

```
//Plota o gráfico de dispersão da demanda (real x prevista), a curva ideal e calcula r e R²
xbar = mean(Y);
ybar = mean(Y0);
xx = Y-xbar;
yy = Y0-ybar;
sxx = sum(xx.^2);
syy = sum(yy.^2);
sxy = sum(xx .* yy);
r_reta45 = sxy/sqrt(sxx*syy);
disp(r_reta45,'r_reta45 - Coeficiente de Correlação')
disp(r_reta45*r_reta45,'R²_reta45 - Coeficiente de Determinação')
maximo=max(max(Y),max(Y0));
minimo=min(min(Y),min(Y0));
scf(2);
aux=get("current_axes");
aux.thickness=2;
plot2d(Y,Y0,-1,rect=[minimo-0.01,minimo-0.01,maximo+0.01,maximo+0.01])
plot2d(Y,Y,2)
aux.sub_ticks=[9,9];
aux.thickness=1;
xgrid(1)
```