

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESCOLHA DE
INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS CANDIDATAS A
ATUALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE CONTROLE**

Jurislene Araújo Freitas

Fortaleza
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESCOLHA DE
INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS CANDIDATAS A
ATUALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE CONTROLE**

Jurislene Araújo Freitas

**Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado em Engenharia de Transportes
da Universidade Federal do Ceará, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em
Engenharia de Transportes**

ORIENTADOR: Prof.º Dr. Waldemiro de Aquino Pereira Neto

**Fortaleza
2009**

F936p Freitas, Jurislene Araújo

Proposição de um método para escolha de interseções semaforizadas candidatas a atualização da tecnologia de controle / Jurislene Araújo Freitas.

133 f: il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. Waldemiro de Aquino Pereira Neto

Área de concentração : Tráfego urbano

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia. Depto. de Engenharia de Transportes, 2009.

1. Controle de tráfego 2. Trânsito – sinais e sinalização I. Pereira Neto, Waldemiro de Aquino (orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes III. Título

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FREITAS, J.A (2009). Proposição de um método para escolha de interseções semaforizadas candidatas a atualização da tecnologia de controle. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ce, 133fl.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jurislene Araújo Freitas

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Proposição de um método para escolha de interseções semaforizadas candidatas a atualização da tecnologia de controle. Mestre 2009.

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos.

O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Jurislene Araújo Freitas

PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESCOLHA DE INTERSEÇÕES
SEMAFORIZADAS CANDIDATAS A ATUALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
CONTROLE

Jurislene Araújo Freitas

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES.

Aprovada por:

Prof. Waldemiro de Aquino Pereira Neto, Dr.
(Orientador)

Prof. Flávio José Craveiro Cunto, PhD.
(Examinador Interno)

Prof. Antonio Clóvis Pinto Ferraz, PhD.
(Examinador Externo)

FORTALEZA, CE – BRASIL

NOVEMBRO DE 2009

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João e Maria de Fátima, que são a base do meu mundo.

Aos meus irmãos, Maria do Carmo e Leonardo, pelo apoio e carinho.

Ao meu namorado, Carlos Emanuel, pelo amor, compreensão e companheirismo.

Aos meus amigos de todas as horas, dedico.

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é para Deus, que é o meu guia de todas as horas.

A colaboração de algumas pessoas fez possível a conclusão deste trabalho, então devo uma enorme gratidão a:

Minha família, que é a minha base, meu porto seguro, por estarem sempre me apoiando, sendo responsáveis pelo que sou hoje.

Os meus amigos do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR, que me dão aulas de gestão do trânsito todos os dias.

As pessoas que disponibilizaram tempo e esforços para a conclusão do projeto, em especial ao Marcus Vinícius Teixeira de Oliveira, Miguel Barbosa Ary, Wesley Vasconcelos Serpa e Makey Nondas Maia, que colaboraram doando ao trabalho um pouco de suas experiências com o trânsito de Fortaleza, o Diego Veras Chaves, responsável por grande parte dos mapas, e ao meu grande amigo Eduardo Araújo de Aquino, que me ajudou a desenvolver todo o projeto.

O Prof. Waldemiro de Aquino Pereira Neto pela orientação e apoio fundamentais para sua execução. A Profa. Maria Elisabeth Pinheiro Moreira, o Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, o Prof. Flávio José Craveiro Cunto e o Antonio Clóvis Pinto Ferraz por todo o apoio.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	4
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	6
1.3.1 Objetivo Geral	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 2	8
TECNOLOGIA SEMAFÓRICA.....	8
2.1 INTRODUÇÃO.....	8
2.2 CONCEITOS	8
2.3 CLASSIFICAÇÃO SEMAFÓRICA	9
2.3.1 Quanto ao Usuário Atendido	9
2.3.2 Quanto ao Modo de Coordenação	11
2.3.3 Quanto ao Modo de Operação	12
2.3.4 Quanto ao Modo de Controle	20
2.4 CRITÉRIOS UTILIZADOS PARA A DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONFIGURAÇÃO SEMAFÓRICA	21
2.4.1 Critérios Utilizados para Definição do Modo de Coordenação	21
2.4.2 Critérios para Definição do Modo de Operação	26
2.4.3 Critérios para Definição do Modo de Controle	27
CAPÍTULO 3	29
MÉTODO PROPOSTO	29
3.1 INTRODUÇÃO.....	29
3.2 ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO PARA A DETERMINAÇÃO DA COORDENAÇÃO ENTRE SEMÁFOROS.....	29
3.3 MÉTODO PROPOSTO PARA A HIERARQUIZAÇÃO DE SEMÁFOROS A RECEBEREM ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	30

3.3.1 A Metodologia MCDA – Convicções Fundamentais.....	31
3.3.2 Etapas da Aplicação da Metodologia MCDA	31
CAPÍTULO 4	40
ESTUDO DE CASO	40
4.1 INTRODUÇÃO.....	40
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA REDE	40
4.2.1 IMPLANTAÇÃO SEMAFÓRICA	44
4.2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SEMÁFOROS.....	44
4.3 ANÁLISE DO USO DO ÍNDICE DE INTERDEPENDÊNCIA PARA A REDE SEMAFÓRICA DE FORTALEZA	53
4.4 MODELO MULTICRITÉRIO.....	54
4.4.1 Etapas de Aplicação da Metodologia MCDA	55
4.5 CONCLUSÃO.....	68
CAPÍTULO 5	70
RESULTADOS OBTIDOS	70
5.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO LOCAL	70
5.1.1 Saturação	70
5.1.2 Comportamento do Volume na Interseção (PVF2).....	73
5.1.3 Localizado em Rota de PGV (PVF3)	78
5.1.4 Quantidade de Estágios Semafóricos (PVF4)	80
5.1.5 Localizado em Corredor de Transporte Público (PVF5).....	82
5.1.6 Quantidade de Semáforos em seu Grupo (PVF6)	84
5.2 RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL	86
CAPÍTULO 6	95
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	95
6.1 CONCLUSÕES.....	95
6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXO I	108
MATRIZES DE JULGAMENTO SEMÂNTICO PARA OBTENÇÃO DAS FUNÇÕES DE VALOR	108

ANEXO II.....	110
MATRIZES DE JULGAMENTO SEMÂNTICO PARA DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO	110
ANEXO III	111
HIERARQUIZAÇÃO DOS SEMÁFOROS DE ACORDO COM PONTUAÇÃO GLOBAL DO MODELO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Número anual de implantações semaforicas na cidade de Fortaleza	5
Figura 2.1: Semáforo veicular com travessia protegida para pedestre	10
Figura 2.2: Média do volume dos dias úteis de Fortaleza, por plano semaforico	15
Figura 2.3: Exemplo de semáforo com um sistema de detecção de veículos	19
Figura 2.4: Escala do Índice de Interdependência	24
Figura 2.5: Escala para definição da coordenação de acordo com a diferença de ciclo..	25
Figura 3.1: Modelo de arborescência dos Pontos de Vista	35
Figura 3.2: Exemplo de um descritor com seus níveis e zonas.	36
Figura 3.3: Escala semântica utilizada pelo software MACBETH SCORES	37
Figura 3.4: Exemplo de comparação par a par para a obtenção das taxas de substituição entre as Ações A e B	38
Figura 4.1: Base de Fortaleza com disposição espacial dos semáforos.....	43
Figura 4.2: Porcentagem de semáforos de Fortaleza quanto ao modo de coordenação.	45
Figura 4.3: Porcentagem de semáforos por modo de controle	46
Figura 4.4: Comparação anual da porcentagem de semáforos por modo de controle	47
Figura 4.5: Mapa Temático com localização dos semáforos classificados por modo de controle.....	48
Figura 4.6: Semáforos centralizados por ano de centralização.....	50
Figura 4.7: Porcentagem de semáforos x modo de operação em Fortaleza.....	51
Figura 4.8: Localização dos semáforos de acordo com o modo de operação.....	52
Figura 4.9: Arborescência dos pontos de vista do Modelo de Avaliação dos semáforos candidatos a atualização tecnológica	56
Figura 4.10: Média do volume dos dias úteis de Fortaleza, por intervalo de 15 minutos.....	58
Figura 4.11: Níveis de Impacto do PVF1 - Saturação	58
Figura 4.12: Níveis de Impacto do PVE2.1 – Quantidade de Planos Semaforicos	60
Figura 4.13: Níveis de Impacto do PVE2.2 – Variação expressiva de volume	61
Figura 4.14: Níveis de Impacto do PVF3 - Frequência dos PGV's.....	63
Figura 4.15: Níveis de Impacto do PVF4 - Estágios Semaforicos	64
Figura 4.16: Níveis de Impacto do PVF5 – Corredor de Transporte Público	65
Figura 4.17: Níveis de Impacto do PVF6 - Quantidade de semáforos no grupo.....	66
Figura 5.1: Localização dos semáforos analisados, quanto ao PVF1	72
Figura 5.2: Localização dos semáforos analisados quanto ao PVE2.1.....	74
Figura 5.3: Localização dos semáforos analisados, classificados quanto ao PVE2.2	77
Figura 5.4: Localização dos semáforos pontuados para o PVF3	79
Figura 5.5: Localização dos semáforos pontuados para o PVF4.....	81
Figura 5.6: Localização dos semáforos analisados, classificados quanto ao PVF5	83

Figura 5.7: Localização dos semáforos analisados, quanto ao PVF6.....	85
Figura 5.8: Histograma com porcentagem de semáforos a cada 10 pontos.....	86
Figura 5.9: Localização espacial dos semáforos quanto à pontuação global obtida.....	87
Figura 5.10: Valor obtido de cada PVF dos dez primeiros semáforos	88
Figura 5.11: Valor obtido de cada PVE dos dez primeiros semáforos	89
Figura 5.12: Composição da pontuação obtida dos dez primeiros semáforos classificados, segundo os PVFs.....	90
Figura 5.13: Composição da pontuação obtida dos dez primeiros semáforos classificados, segundo os PVEs	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Frota anual de automóveis no Brasil.....	2
Tabela 2.1: Programação utilizada em grande parte dos semáforos de Fortaleza	14
Tabela 4.1: Configuração semaforica pela porcentagem de semáforos na rede	44
Tabela 4.2: Média e desvio padrão de uma amostra de semáforos de Fortaleza	54
Tabela 4.3: PVF1 – Saturação – Maior ciclo, em segundos, nas 5 horas de um dia útil	59
Tabela 4.4: PVE2.1 – Quantidade de Planos Semaforicos	60
Tabela 4.5: PVE2.2 – Variação expressiva de volume	62
Tabela 4.6: PVF3 – Localizado em rotas de PGV	63
Tabela 4.7: PVF4 – Quantidade de estágios semaforicos	64
Tabela 4.8: PVF5 – Localizado em corredor de transporte público	65
Tabela 4.9: PVF6 – Quantidade de semáforos em seu grupo	67
Tabela 5.1: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF1	71
Tabela 5.2: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF2.1	73
Tabela 5.3: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF2.2	75
Tabela 5.4: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF3	78
Tabela 5.5: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF4	80
Tabela 5.6: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF5	82
Tabela 5.7: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF6	84
Tabela 5.8: Relação dos dez primeiros semáforos classificados de acordo com o modelo multicritério	88
Tabela 5.9: Relação dos primeiros semáforos recomendados a modificar a tecnologia.	94
Tabela I.1: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF1 - Saturação.....	108
Tabela I.2: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVE2.1 – Quantidade de Planos Necessários.....	108
Tabela I.3: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVE2.2 – Variação Expressiva de Volume.....	108
Tabela I.4: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF3 – Localizado em Rotas de PGV	109
Tabela I.5: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF4 – Quantidade de Estágios Semaforicos.....	109
Tabela I.6: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF5 – Localizado em Corredor de Transporte Público.....	109
Tabela I.7: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF6 – Quantidade de Semáforos em seu Grupo.....	109
Tabela II.1: Matriz de Julgamento Semântico e Taxas de Substituição para os Pontos de Vista: PVF1 – Saturação, PVF2 – Comportamento do Volume na Interseção, PVF3 – Localizado em Rotas de PGV, PVF4 – Quantidade de	

Estágios Semafóricos, PVF5 – Corredor de Transporte Público, PVF6 – Quantidade de Semáforos em seu Grupo.....	110
Tabela II.2: Matriz de Julgamento Semântico e Taxas de Substituição para os Pontos de Vista: PVE2.1 – Quantidade de Planos Necessários, PVe2.2 - Variação Expressiva de Volume.....	110
Tabela III.1: Avaliação Global obtida com o modelo proposto para todos os semáforos analisados.....	111

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA ESCOLHA DE INTERSEÇÕES
SEMAFORIZADAS CANDIDATAS A ATUALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
CONTROLE

Jurislene Araújo Freitas

Novembro/2009

Orientador: Waldemiro de Aquino Pereira Neto, Dr.

O crescente aumento da frota de veículos particulares e a concentração de deslocamentos decorrentes da implantação de Pólos Geradores de Viagens têm comprometido as condições de mobilidade nas áreas urbanas dos municípios brasileiros. Um dos pontos críticos tratados pela Engenharia de Tráfego são os conflitos observados nas interseções em nível, que são tratados com a utilização de dispositivos de controle como a sinalização ‘PARE’, mini-rotatórias e semáforos. Este último recurso é recomendado em vários manuais de tráfego com base nos volumes de tráfego, níveis de atraso e índices de acidentes observados na interseção, sem, entretanto estabelecer qual tecnologia de controle a ser utilizada. Esta pesquisa de mestrado propõe um método para hierarquizar numa rede semafórica, quais interseções devem prioritariamente receber atualização em sua tecnologia de controle. É realizado um estudo de caso na cidade de Fortaleza, onde são analisados semáforos que atualmente possuem uma programação em tempo fixo, identificando aqueles que são prioritários para a substituição pela tecnologia centralizada em tempo real. Este trabalho foi desenvolvido utilizando a metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA), permitindo a identificação dos aspectos considerados relevantes no contexto decisório, segundo o julgamento de valor dos técnicos do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Transportation Engineering.

PROPOSITION OF A METHOD TO HELP CHOOSING WHICH INTERSECTIONS
SHALL UPDATE ITS TRAFFIC LIGHT CONTROL TECHNOLOGY

Jurislene Araújo Freitas

November/2009

Advisor: Waldemiro de Aquino Pereira Neto

The intensive fleet's increase and the trips generated after the implementation of Trips Generators Poles have made worse the mobility in the urban areas of Brazilian cities. One of the most important items studied by Traffic Engineering are the observed conflicts in intersections, in which some control features can be seen: STOP sign, small-roundabouts and traffic lights. The latest are recommended to be installed by several traffic manuals, based in traffic flows, delay levels and accidents observed in the intersection, though those manuals don't indicate which traffic light control technology shall be used. This Master Dissertation presents a methodology to hierarchize, in a traffic light network, which intersection must receive an update technology in its traffic control dispositive. The City of Fortaleza's fixed-time traffic light network is analyzed to produce a rank indicating the intersections that need an up-to-date real-time centralized traffic control instead of fixed-time technology. This work was developed using Multi-Criteria Decision Analyzes (MCDA), allowing the knowledge of the relevant aspects in the decision context, according to the value judgments from the Fortaleza's Traffic Lights Department (CTAFOR) staff.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O crescimento desordenado da população, fenômeno observado em várias cidades brasileiras com o processo de urbanização, gerou um aumento do tamanho das cidades e uma dispersão geográfica. A inexistência de ações efetivas de planejamento urbano e controle do uso do solo resultou na expansão do raio urbano das cidades, sendo observada a coexistência de áreas de maior adensamento e áreas de vazios urbanos. O fato das pessoas passarem a morar em locais cada vez mais distantes, sobretudo em áreas desprovidas de infraestrutura para o atendimento de necessidades cotidianas de seus moradores, como os serviços de educação, saúde, lazer e compras, deu ao transporte motorizado o status de único modo capaz de vencer as grandes distâncias de viagem, em detrimento do transporte não motorizado.

Pesquisa realizada pela CNT em 2002 concluiu que 70% do tráfego nos principais corredores do Brasil é composto por automóveis ou utilitários leves e 14% por ônibus (Teixeira, 2006), mostrando que o automóvel assumiu papel cada vez mais significativo como elemento de sustentação deste processo de expansão urbana. Dados da frota de automóveis do Brasil divulgado pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (DENATRAN, 2009) mostram que esta taxa de crescimento está maior a cada ano.

Tabela 1.1: Frota anual de automóveis no Brasil

Mês	Frota de Automóveis	Taxa Crescimento
Dez/00	19.972.690	-
Dez/01	21.236.011	6,3
Dez/02	23.036.041	8,5
Dez/03	23.669.032	2,7
Dez/04	24.936.451	5,4
Dez/05	26.309.256	5,5
Dez/06	27.868.564	5,9
Dez/07	29.851.610	7,1
Dez/08	32.054.684	7,4
Dez/09	34.536.667	7,7

Fonte: (DENATRAN, 2010)

Este aumento do uso do transporte individual está ligado, principalmente, ao crescimento econômico dos últimos anos aliado à inexistência de um sistema de transporte público de qualidade capaz de desestimular a migração da população para o modo individual. Existem algumas visões convencionais que procuram justificar a utilização do automóvel como modo principal de deslocamento nas cidades. Uma delas está relacionada ao carro como símbolo de posse, demonstração pública e riqueza do proprietário. Outra visão está associada à sensação de liberdade e privacidade que o automóvel representa, já que o motorista pode escolher quem trafega em seu automóvel, o que não acontece no transporte público. A terceira visão está ligada ao ato de dirigir e o prazer estético, o que aliado à primeira visão pode induzir a troca constante do automóvel por um modelo mais novo, impactando mais ainda o crescimento da frota. A última visão relaciona o automóvel como uma tecnologia de mobilidade, já que o motorista possui uma flexibilidade de rotas incomparável a qualquer outro modo de transporte, garantindo um deslocamento porta a porta (Vasconcelos, 2003). Apesar de estas abordagens explicarem em parte o poder que o automóvel exerce na sociedade atual, vale ressaltar que esta importância é exarcebada em função de falhas no processo de planejamento urbano, que dificultam a utilização de modos de transporte mais sustentáveis como o transporte público e não motorizado.

O aumento da frota de automóveis gera um grande impacto nas condições de fluidez do tráfego, uma vez que, esta taxa de crescimento não é acompanhada por uma expansão compatível na oferta de infraestrutura viária, resultando na saturação do sistema viário, e por sua vez, causando o surgimento de congestionamentos e elevação nos tempos de viagem, comprometendo a condição de mobilidade da população. Enquanto um automóvel possui capacidade de transportar 5 passageiros e apresenta uma ocupação média de apenas 1,5 passageiros por veículo, o mesmo ocupa espaço na via equivalente a 75% do espaço ocupado por um ônibus urbano, que por sua vez tem capacidade para transportar 40 passageiros; e uma média de ocupação de 30 passageiros/veículo (IEA, 2002). Em Fortaleza, os automóveis representam 62,29% da frota, número este avaliado alto considerando-se a baixa capacidade de transporte deste veículo quando comparado ao ônibus, que representa 0,84% da frota do município (DENATRAN, 2009). Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2003), 62% da frota nacional de veículos está concentrada nas 49 aglomerações urbanas brasileiras, dado que reforça a tendência de aumento nos congestionamentos, seja em termos de duração ou de sua frequência, penalizando os usuários de um modo geral em seus deslocamentos, com o crescimento dos níveis de atraso e conseqüente elevação nos tempos de viagem. Em virtude disto, os congestionamentos são um dos principais problemas de trânsito enfrentados pelos municípios brasileiros (Trindade Filho, 2002).

Para enfrentar os problemas atuais de circulação urbana, uma série de medidas pode ser apontada. A expansão da infraestrutura viária, por exemplo, apresenta altos custos, exigindo investimentos para a realização de intervenções, como o alargamento de vias, construção de viadutos e túneis, representando um aspecto restritivo importante. O resultado é a impossibilidade de elevar a capacidade viária de áreas urbanas, em um ritmo que acompanhe a taxa de crescimento da frota de veículos individuais.

Como a expansão da infraestrutura, por si só, não fornece condições sustentáveis de solucionar os impactos advindos com o aumento da frota, se faz necessária a adoção de medidas de controle e ordenamento do trânsito, apontadas pela engenharia de tráfego, para a mediação dos conflitos de tráfego e a obtenção de melhores condições de circulação.

Um dos principais pontos de conflito no sistema viário urbano corresponde às interseções, sendo necessárias medidas para gerenciá-las. Em função dos volumes de tráfego e da quantidade de conflitos existentes nestas interseções podem ser adotadas soluções em nível, que vão desde a sinalização, de “Dê a preferência”, “Pare”, rotatórias até a utilização de controle semafórico. Este último tem como objetivo reduzir conflitos, melhorando a fluidez e as condições de segurança em locais onde os volumes de tráfego veicular e de pedestres tornam-se elevados (Pereira, 2005).

Os equipamentos semafóricos incorporaram inovações tecnológicas das últimas décadas, resultando numa melhoria em seu desempenho quanto à elevação das condições de fluidez do tráfego. Um exemplo desta realidade, já adotada em algumas cidades brasileiras, é a implantação de centros de Controle de Tráfego em Área (CTA), o qual proporciona um monitoramento nas mudanças de tráfego em interseções. Em geral, esses centros são compostos por subsistemas, onde os mais comumente encontrados são: um Circuito Fechado de Televisão (CFTV), os Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) e o Controle Semafórico Centralizado.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Os equipamentos semafóricos tradicionais, apesar de apresentarem vantagens como menores custos de implantação possuem desvantagens tanto com relação ao desempenho para a fluidez do tráfego, quanto se forem considerados as atividades necessárias para a manutenção do sistema como a atualização dos planos semafóricos. Neste contexto, considerando uma rede semafórica composta de equipamentos obsoletos, é importante dispor de critérios que definam quais cruzamentos semafóricos são prioritários para a incorporação de inovações tecnológicas.

Um exemplo desta dificuldade é vivenciado na cidade de Fortaleza no gerenciamento do trânsito, como mostrado na Figura 1.1, que apresenta a evolução da implantação de semáforos, observada na última década.

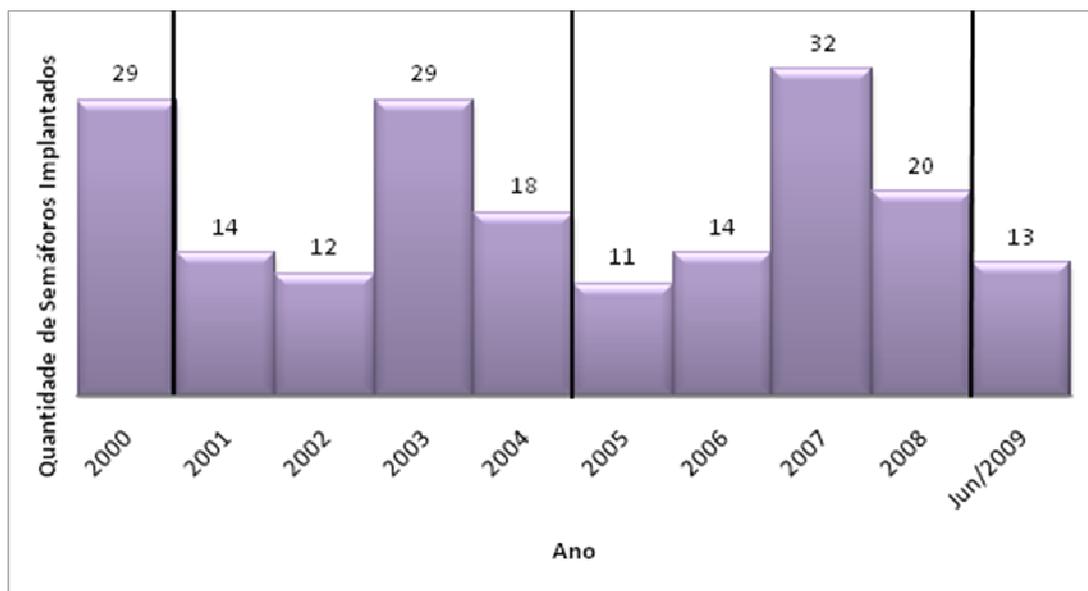


Figura 1.1: Número anual de implantações semafóricas na cidade de Fortaleza
Fonte: CTAFOR (2009)

As linhas verticais da Figura indicam os anos de eleições municipais e as conseqüentes mudanças administrativas na prefeitura. Após estes períodos, percebe-se que o número de semáforos implantados diminui, demonstrando que a gestão da rede semafórica de Fortaleza é bastante influenciada por decisões políticas. Uma das principais causas desta situação corresponde à inexistência de um Plano Diretor de Semáforos, ferramenta esta que quando embasada em critérios técnicos permite nortear as ações dos agentes públicos e privados quanto ao processo de planejamento municipal para implantação e manutenção de semáforos.

Na literatura existem alguns critérios tradicionalmente usados para auxiliar os técnicos quanto à tomada de decisão sobre a necessidade de instalação de semáforos, normalmente associados a parâmetros como fluidez e segurança. Entretanto, a definição de qual tecnologia de controle semafórico deve ser utilizada numa rede semafórica já existente é uma questão ainda pouco abordada. A definição de um método para a escolha de interseções semafóricas prioritárias para a atualização de sua tecnologia permite, por exemplo, orientar a aplicação dos recursos financeiros disponíveis na busca pela obtenção de melhores resultados na operação da rede semafórica, auxiliando a tomada de decisão e servindo como instrumento de apoio na elaboração de um Plano Diretor de Semáforos.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi estabelecido o seguinte objetivo geral:

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um método para hierarquizar interseções semaforizadas providas da tecnologia de tempo fixo, identificando uma ordem de prioridade para a substituição destes equipamentos pela tecnologia em tempo real, de forma a promover a melhor utilização dos recursos financeiros disponíveis para a elevação das condições de fluidez do tráfego. Para se chegar ao objetivo geral, foram delimitados os objetivos específicos descritos abaixo:

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica dos estudos referentes às tecnologias de equipamentos semaforicos, assim como dos critérios para a identificação de semáforos críticos que devem atualizar sua tecnologia;
- Avaliar critérios existentes para o agrupamento de semáforos que devem operar de forma coordenada, uma vez que estes semáforos deverão possuir a mesma tecnologia;
- Desenvolver um método para identificar e validar os aspectos relevantes ao processo de avaliação de cruzamentos candidatos à substituição da tecnologia semaforica de tempo fixo para tempo real, segundo o julgamento dos decisores (técnicos da área de engenharia de tráfego);
- Fazer uma caracterização da rede semaforica da cidade de Fortaleza;
- Realizar um estudo de caso na malha semaforica da cidade de Fortaleza, de forma a ilustrar o método proposto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Capítulo, de caráter introdutório, será seguido de mais outros cinco. O Capítulo 2 apresenta uma classificação semafórica baseada nas características físicas dos semáforos. Posteriormente, ainda como parte da revisão bibliográfica, são listados critérios técnicos utilizados para identificar cruzamentos críticos que deverão receber atualização na tecnologia semafórica, de modo que os conflitos existentes nos cruzamentos sejam melhor gerenciados.

No Capítulo 3 é proposto um método para avaliação do desempenho de redes semafóricas, visando à definição de estratégias de coordenação, controle e operação de semáforos.

Já o Capítulo 4 traz o estudo de caso com a caracterização da rede semafórica de Fortaleza, onde foi aplicada a classificação semafórica proposta no Capítulo 2. O objetivo desta caracterização é conhecer a malha semafórica de Fortaleza, para que, ainda neste Capítulo, seja aplicado o método proposto no Capítulo 3, com o objetivo de ilustrá-lo.

O Capítulo 5 traz o resultado da aplicação do modelo em Fortaleza, juntamente com sua análise. Por sua vez, no Capítulo 6 serão mostradas as conclusões e recomendações do trabalho desenvolvido.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGIA SEMAFÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO

Os problemas de mobilidade nos grandes centros urbanos apresentam a cada dia um maior grau de complexidade. O aumento da frota de veículos, aliado à concentração de viagens devido à implantação cada vez mais crescente de Pólos Geradores de Viagens – PGV's tornaram mais difíceis as ações de gerenciamento do trânsito. Dentre os problemas observados, se destacam os conflitos entre os fluxos de tráfego nas interseções de vias.

Nesse sentido, é cada vez mais freqüente a preocupação com o tráfego urbano, uma vez que existe escassez de recursos públicos para investimento em infraestrutura e o inevitável crescimento da frota causa a saturação das vias, e como consequência o aumento dos congestionamentos, atrasos e tempos de viagens.

Neste Capítulo são apresentados como os semáforos se classificam em uma rede semafórica, sendo utilizados como parâmetros de classificação tanto suas características físicas quanto a tecnologia de controle utilizada. São ainda apresentados na literatura critérios técnicos utilizados para avaliar uma rede de semáforos, visando definir parâmetros para a escolha de interseções candidatas a atualização tecnológica com o objetivo de otimizar a operação e controle semafórico.

2.2 CONCEITOS

Antes de apresentar a classificação, é importante definir alguns conceitos utilizados na caracterização dos equipamentos semafóricos.

- Focos - lentes coloridas nas cores amarela, vermelha e verde que regulamentam o direito de passagem dos usuários do trânsito. Ao conjunto de dois ou mais focos é dado o nome de Grupo Focal;

- Plano - conjunto de parâmetros que determinam a sequência e duração dos tempos do semáforo;
- Estágio - cada uma das diferentes configurações de movimentos no cruzamento semaforizado;
- Fase - cada uma das diferentes configurações de movimentos onde pelo menos um fluxo continua em movimento;
- Ciclo - sequência completa de todos os estágios de um semáforo;
- Partição de verde – extensão do tempo de verde, em segundos, dado a cada estágio;
- Vermelho geral – tempo de vermelho que decorre entre o final do amarelo do estágio vigente e o início do verde do próximo estágio. Neste período, os movimentos que perdem o direito de passagem já estão recebendo a indicação vermelha e os que irão receber a indicação verde, permanecem ainda em vermelho;
- Entreverdes - tempo de amarelo que entra logo após o verde. Em alguns semáforos, o entreverdes é composto também por um vermelho geral;
- Defasagem - diferença, em segundos, entre o início do verde de dois semáforos diferentes.

2.3 CLASSIFICAÇÃO SEMAFÓRICA

Em função do tipo de usuário atendido e da configuração que o semáforo desempenha na rede viária, podem ser estabelecidas as classificações apresentadas a seguir.

2.3.1 Quanto ao Usuário Atendido

Esta classificação foi definida de acordo com o tipo de usuário atendido pelo dispositivo semaforico, ou seja, os veículos motorizados, pedestres e ciclistas.

- Veículos motorizados

- *Semáforo exclusivo veicular*

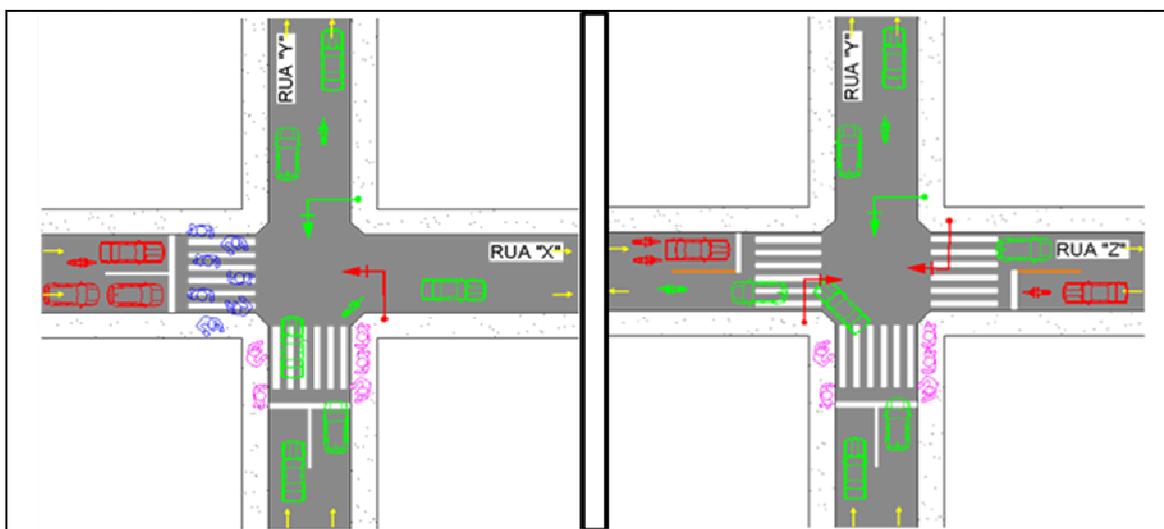
São semáforos com estágios e grupos focais direcionados apenas para os veículos, ou seja, são implantados com o objetivo de beneficiar os veículos. Entretanto, a interrupção destes fluxos permite a geração de brechas para a travessia de pedestres e ciclistas nas áreas próximas da interseção.

- Pedestres

Os semáforos com benefícios para pedestres podem ser de três tipos.

- *Semáforo veicular com travessia protegida para pedestres*

São semáforos veiculares que possuem indicação do momento de travessia para pedestres. Estão implantados em vias de mão única e acionam o verde para o pedestre quando o vermelho veicular da aproximação conflitante entra em curso, garantindo, assim, o bloqueio do tráfego pela sinalização semafórica e a realização de uma travessia protegida, também conhecida como ‘carona’. Este tipo de semáforo está exemplificado na Figura 2.1.



Cruzamento de vias de sentido único. Quando está verde para os veículos da Rua “Y”, o foco de pedestres da Rua “X” fica aberto e vice-versa.

Figura 2.1: Semáforo veicular com travessia protegida para pedestre

Fonte: Aquino e Parente (2009)

- *Semáforo veicular com estágio demandado para pedestres*

Estes semáforos possuem dois ou mais estágios veiculares e um estágio para pedestres que somente entra em operação com o acionamento da botoeira pelo pedestre.

Neste caso, um dos estágios do ciclo é destinado exclusivamente para o pedestre, ficando os veículos de movimentos conflitantes parados.

- *Semáforo exclusivo para pedestres*

São semáforos implantados, geralmente, em meio de quadra, em locais onde é identificada uma travessia concentrada de pedestres e a travessia se dá com o acionamento da botoeira pelo pedestre.

- **Ciclistas**

Os semáforos que beneficiam os ciclistas podem ser de dois tipos.

- *Semáforo veicular com estágio para ciclistas*

Semáforos que possuem um ou mais estágios para veículos e também para ciclistas.

- *Semáforo veicular com travessia protegida para ciclistas*

São semáforos onde pelo menos uma das vias possui ciclovia e os movimentos veiculares, em pelo menos um estágio, não entra em conflito com o movimento do ciclista. Neste caso, são instalados focos para indicar ao ciclista o momento de transpor a transversal. Geralmente o tempo do ciclista coincide com o estágio da via que possui a ciclovia.

2.3.2 Quanto ao Modo de Coordenação

Nesta seção, os semáforos foram classificados quanto ao modo de coordenação em dois tipos: não coordenados ou coordenados.

- **Não Coordenados**

Operando de forma isolada, estes semáforos possuem uma atuação independente dos demais semáforos da rede, não havendo nenhum tipo de coordenação semafórica (Leandro, 2001), sendo assim considerados integrantes do sistema mais simples existente. A decisão por utilizar esse tipo de controle, também denominado de semáforo isolado, decorre do fato do mesmo se encontrar muito distante de outros semáforos da rede, ou ainda devido a existirem algumas características no fluxo de tráfego desta

interseção que diferenciam suas características do padrão (volume, quantidade de estágios, etc.) de semáforos próximos.

- **Coordenados**

A necessidade de se controlar muitas interseções semaforizadas no lugar de somente um cruzamento causou uma busca por métodos para executar operações de programação dos semáforos, visando otimizar o tráfego em corredores inteiros ou redes formadas por corredores semaforicos, no lugar de interseções isoladas (Pereira, 2005).

De acordo com TRINDADE FILHO (2002), a coordenação é feita em semáforos próximos e tem o objetivo de reduzir atrasos, por meio da prevenção de paradas contínuas. A coordenação também é utilizada para evitar que as filas de veículos de uma interseção aumentem de forma a prejudicar o semáforo anterior.

A coordenação é feita através do ajuste das defasagens de dois ou mais cruzamentos próximos e que estão localizados numa rota de tráfego importante. Uma interligação entre os mesmos diminui o número de paradas e, conseqüentemente, os atrasos dos veículos.

A atualização tecnológica de um semáforo muitas vezes exige a substituição dos equipamentos de outras interseções, se o mesmo estiver coordenado a outros semáforos da rede. Esta medida é normalmente tomada visando preservar a coordenação dos semáforos, facilitando assim a fluidez em corredores de tráfego. Desta forma, para o procedimento investigado nesta dissertação, uma etapa precessora à definição dos semáforos candidatos à modernização de seus equipamentos, corresponde à definição dos semáforos que serão agrupados visando sua coordenação.

2.3.3 Quanto ao Modo de Operação

- **Tempo Fixo**

Os semáforos de tempos fixos possuem controladores simples e baratos, de fácil manuseio e manutenção, porém limitados, fazendo-se necessário cuidadoso ajuste na programação de tempos (Trindade Filho, 2002). Eles possuem planos semaforicos pré-determinados e com uma duração fixa, baseada em contagens volumétricas e classificatórias realizadas anteriormente à instalação do semáforo. Além disso, se faz

necessário um acompanhamento periódico, uma vez que mudanças no volume de tráfego ao longo do tempo irão exigir ajustamentos na programação semafórica. A programação dos tempos semafóricos consiste na determinação dos tempos de verde, amarelo e vermelho de cada aproximação (Leandro, 2001).

O tipo de operação com tempos fixos pode ser subdividido em dois tipos.

- o *Monoplano*

Semáforos que possuem apenas um plano de tempos fixos, constante durante todo o dia, não sendo possível um ajuste dos tempos de verde aos volumes de tráfego observados nas horas de pico, sendo normalmente proposta uma programação baseada nos volumes. Ou seja, o semáforo possui uma única programação que é executada o dia inteiro, todos os dias, não acompanhando assim as variações da demanda veicular (Leandro, 2001).

Apesar do equipamento utilizado para este tipo de operação apresentar um menor custo, o semáforo funciona o dia todo com apenas um plano, não sendo recomendado para cruzamentos com expressivas variações de volume. Nestas situações, considerando que a programação do semáforo será definida com base em volumes médios do tráfego ao longo do dia, haverá períodos em que o tempo de verde estará ocioso, especialmente naqueles períodos de baixa demanda, enquanto que nos horários de pico, o verde se mostrará insuficiente, com a formação de filas e elevação nos níveis de atraso dos veículos das aproximações mais carregadas.

O modo de operação em tempo fixo monoplano em Fortaleza, geralmente, é encontrado em cruzamentos que receberam este equipamento há bastante tempo e onde não é observada uma expressiva variação de volume do tráfego ao longo do dia. A prática observada tem sido a substituição destes equipamentos à medida que seu desempenho passa a comprometer as condições de fluidez do tráfego. Esses semáforos são considerados ultrapassados, ao se comparar às tecnologias atuais e aos modernos modelos de operação de tráfego. Seu controlador é do tipo eletro mecânico e não apresenta tempos de segurança como o vermelho geral.

Por ser muito limitado, este modo de operação não é recomendado a nenhum cruzamento, sendo a permanência dos mesmos na rede semafórica muitas vezes

relacionada apenas à inexistência de recursos financeiros para a substituição dos equipamentos.

o *Multiplano*

A exigência de uma maior flexibilidade para se adequar às mudanças temporais dos volumes de tráfego tornou necessária a utilização de programações multiplano, representando, portanto uma evolução da tecnologia monoplane, onde o semáforo opera em tempo fixo, mas com diferentes planos ao longo do dia.

Os semáforos multiplanos possuem dois ou mais planos pré-determinados, que mudam de acordo com uma tabela horária, em diferentes períodos do dia, de acordo com a variação do volume veicular do local. Além das mudanças de plano ao longo do dia, são, muitas vezes, propostos planos especiais para dias atípicos como os finais de semana, nos locais onde são observadas mudanças importantes no padrão de tráfego.

Em Fortaleza, os semáforos fixo multiplanos possuem uma tabela horária fixa, formada, na maioria das vezes, de oito planos. Os valores dos ciclos de cada plano são proporcionais ao volume do intervalo horário, e seguem, na maioria das vezes, os intervalos horários apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Programação utilizada em grande parte dos semáforos de Fortaleza

Plano	Classificação	Intervalo Horário
1	Pico Manhã	06:30 – 08:30
2	Entre Pico Manhã	08:30 – 10:30
3	Pico Meio Dia	10:30 – 13:00
4	Entre Pico Tarde	13:00 – 17:00
5	Pico Tarde	17:00 – 19:00
6	Noite 1	19:00 – 21:00
7	Noite 2	21:00 – 00:00
8	Madrugada	00:00 – 06:30

Dados: CTAFOR (2005)

A Figura 2.2 mostra um perfil do volume de veículos observado nos principais corredores de Fortaleza, ao longo de um dia útil. Estes dados foram obtidos na área da

cidade dotada de equipamentos semafóricos com laço detector de demanda. Pela Figura, pode-se observar com mais facilidade a variação de volumes de acordo com o dia.

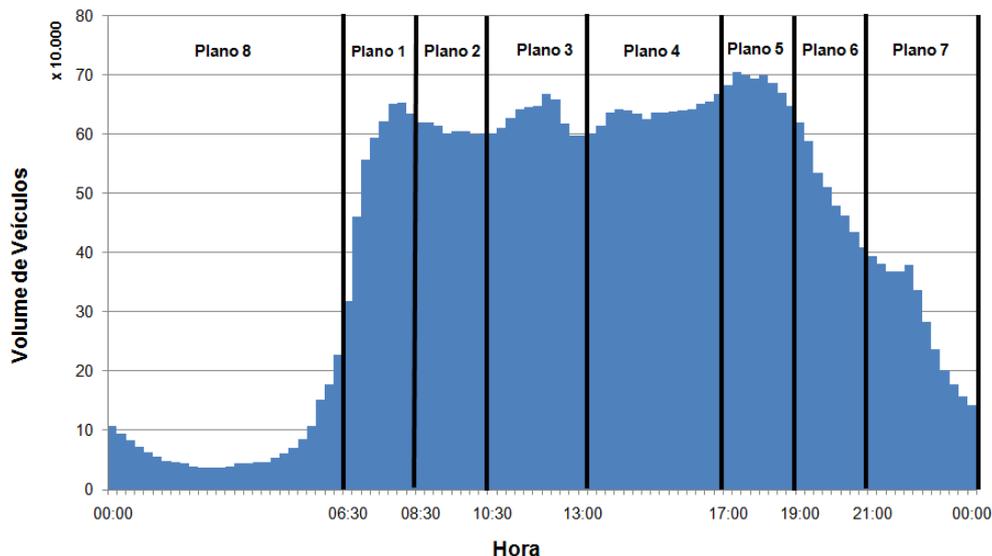


Figura 2.2: Média do volume dos dias úteis de Fortaleza, por plano semafórico
Dados: ASTRID (2009)

Comparando este padrão de tráfego com os planos semafóricos utilizados pode ser observado um bom ajustamento dos horários de mudança de planos diante das variações de volume.

Percebe-se que existem ciclos maiores nos picos (planos 1, 3 e 5), intermediários nos entre picos (planos 2 e 4) e menores na noite e madrugada (planos 6, 7 e 8). Em Fortaleza, nos sábados e domingos são utilizados os planos dos dias úteis, de acordo com o volume do local para este dia.

Além do estabelecimento dos horários de entrada e saída dos planos, uma programação semafórica exige a definição dos tempos semafóricos, que por sua vez exige um conhecimento das características das vias e a realização de pesquisas volumétricas veiculares e de pedestres ao longo do dia no local de instalação do equipamento. Este tipo de operação semafórica, geralmente, é satisfatório, pois pode atender todos os períodos do dia, se adequando às variações de volume de tráfego, porém necessita de uma análise freqüente das condições de operação, a fim de identificar pontos de congestionamentos ou ainda para que sejam observadas variações no volume que justifiquem uma reprogramação do semáforo.

- Semi-Adaptado pelo Tráfego

Nos semáforos semi-adaptados pelo tráfego são posicionados laços de demanda na via secundária. O foco da via principal fica verde até que o laço de demanda detecte a presença de um veículo. Esse tipo de operação normalmente é utilizado em cruzamentos onde há um pequeno volume de veículos com uma baixa taxa de chegada na aproximação da via secundária, enquanto a via principal tem elevado volume, com poucas oportunidades de brechas para os veículos provenientes da secundária.

Em outras palavras, a semi-adaptação do tráfego se baseia na interrupção do tráfego de uma via principal somente quando há demanda na via secundária. O objetivo é facilitar o acesso de veículos da secundária, diminuindo o atraso pela inexistência de brechas na principal, garantindo maior segurança para estes veículos. Nesse caso, são instalados laços detectores veiculares somente nas vias secundárias, próximo à faixa de retenção, e são utilizados para acionar o verde destas aproximações, ou seja, o verde da via principal fica acionado até um veículo da via secundária passar pelo laço detector. É o chamado semáforo com estágio demandado veicular.

Entretanto, em situações onde o volume na via secundária apresenta elevações, o estágio da secundária passa a ser acionado em todos os ciclos e o sistema apresenta uma operação semelhante à de tempo fixo, com uma redução de verde para a principal (Leandro, 2001). Assim, a utilização deste tipo de controle semaforico se aplica apenas em situações específicas.

É importante lembrar que os semáforos com estágio demandado podem ter a via principal de tempo fixo ou de tempo variado. Caso se trate de um semáforo com tempo variável, o mesmo é calculado conforme a variação do volume veicular. Neste caso, a aproximação da via principal poderá também ser provida de laços detectores, tendo seus tempos adaptados pelo tráfego sendo o tempo de verde da via principal determinado em função do seu volume. Caso a via principal não seja provida de laços, o cruzamento opera com tempos fixos. No caso de ter laços em todas as aproximações, o semáforo se enquadraria no modo de operação adaptado pelo tráfego, que está detalhado a seguir.

- Adaptado

Este sistema tem como base informações obtidas com detectores veiculares, onde um algoritmo mede os estados destes detectores, selecionando um plano de tempo fixo mais apropriado para aquela condição de tráfego. Isto permite que pequenas variações diárias sejam mais bem tratadas do que os semáforos de tempo fixo (Trindade Filho, 2002).

- Atuado pelo Tráfego (Tempo Real)

A evolução dos equipamentos de controle semafórico levou ao desenvolvimento de estratégias mais sofisticadas, as quais geram uma maior eficiência na administração do tráfego, por meio da utilização de mais recursos técnicos para o monitoramento e controle das condições de operação do tráfego, como é o caso do controle semafórico em tempo real, onde é possível ajustar de forma automatizada a programação dos semáforos à medida que ocorrem variações da demanda em campo (Bonetti Junior e Pietrantonio, 2001).

Nos semáforos atuados pelo tráfego, são instalados laços detectores em todas as aproximações do cruzamento, para que os tempos de verdes sejam relacionados às demandas de tráfego, ou seja, os laços detectores indicam qual aproximação possui um maior volume de veículos, de forma a dar mais tempo de verde para essa aproximação, exigindo assim poucos dados para serem coletados em campo.

Os semáforos atuados pelo tráfego têm os tempos, de ambas as aproximações, atualizados em tempo real pela variação do fluxo, resolvendo problemas relativos às mudanças de plano e correções periódicas em suas programações. Também são conhecidos como semáforos em tempo real e operam com um sistema de monitoramento que adapta parâmetros dos semáforos de acordo com o fluxo de veículos. Sendo assim, pode-se dizer que enquanto o semáforo de tempos fixos, por ter os tempos constantes, não atende as variações aleatórias de volume, os semáforos semi-adaptados, adaptados e atuados pelo tráfego respondem de forma automatizada a estas variações.

Outra vantagem do tempo real ocorre no caso de haver um incidente próximo ao semáforo, pois na ocorrência de um congestionamento no local, o fenômeno é detectado pelos laços e tem como resposta uma atuação automática do semáforo. Porém, existem algumas desvantagens, como a possibilidade de falhas nos laços detectores, o que

comprometeria o desempenho do sistema, além de seu elevado custo de implantação e manutenção.

Algumas cidades brasileiras fizeram uma análise deste tipo de operação e chegaram a resultados positivos como, por exemplo, a cidade de São Paulo, que em virtude da alteração do plano de operação de tempo fixo para tempo real, obteve uma redução de 20% nos tempos de espera dos veículos nos semáforos, uma queda de 19% no número de colisões com vítimas e de 44% na quantidade de atropelamentos (Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, 2007). Outro exemplo é a cidade de Belo Horizonte, que diminuiu em 16,34% a média do tempo de percurso (Ribeiro e Pereira, 2007).

Em 2003 foi feito um estudo nos horários de pico dos principais corredores arteriais de Fortaleza e chegou-se a ganhos médios de velocidade entre 23% e 50% no pico da manhã, 35% e 45% no pico do meio dia e 23% e 38% no pico da tarde (Pereira Neto *et al.*, 2003).

Todos os semáforos de Fortaleza que operam em tempo real possuem o modo de controle centralizado. Estes semáforos também possuem programação de tempo fixo para todos os horários, pois, caso o semáforo tenha um problema de comunicação, este passará a ter o seu controle em tempo fixo e terá a programação pré-determinada e gravada no controlador em operação, não prejudicando assim os veículos que trafegam no cruzamento. A programação é baseada nos ciclos e no tempo dado a cada aproximação quando o semáforo está em tempo real.

Os semáforos em tempo real de Fortaleza são otimizados pelo *software* SCOOT (*Split, Cycle and Offset Optimization Technique*), o que significa Técnica de Otimização da Porcentagem de Verde, Ciclo e Defasagem. O SCOOT é constituído basicamente de 5 partes: sistema de detecção de veículos, sistema de transmissão de dados, computador central, controladores e grupos focais (CET, 1997). Este sistema é o mais utilizado em todo o mundo, sendo encontrado em mais de 170 localidades e foi desenvolvido pela *Transport and Road Research Laboratory - TRRL*, no Reino Unido, em 1973. Ele se encontra em países como a Inglaterra, China, Canadá, Paquistão, Espanha e no Brasil (Pereira, 2005).

O sistema de detecção de veículos é composto por laços detectores localizados no pavimento de todas as aproximações. Estes são, na verdade, fios enrolados, embutidos no asfalto a mais ou menos 07 cm de profundidade (Cucci Neto, 2001). A Figura 2.3 demonstra um cruzamento com este sistema de detecção.

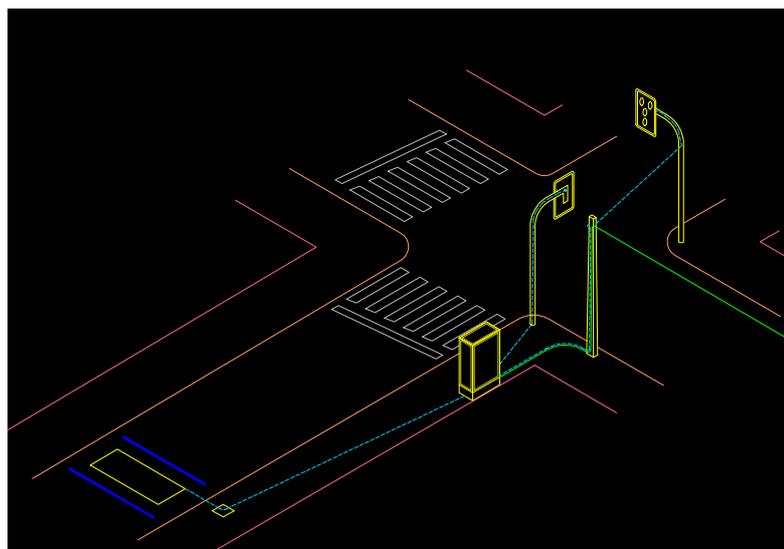


Figura 2.3: Exemplo de semáforo com um sistema de detecção de veículos

Quando um veículo passa pelo laço detector, produz uma alteração no campo magnético. Os laços são ligados ao controlador, o que permite que o mesmo registre essa passagem e informe ao computador central por meio do sistema de transmissão de dados. O computador central, através das informações recebidas, calcula as partições de verde, ciclo e defasagens necessárias e envia para o controlador semafórico, que os implementa nos grupos focais (CET, 1997).

Durante todo este processo, o SCOOT modela e armazena os dados obtidos pelos laços detectores numa base de dados chamada ASTRID (*Automatic SCOOT Traffic Information Database*), que viabiliza informações das condições de tráfego em 18 variáveis distintas, a cada 15 minutos. Sendo assim, o CTAFOR disponibiliza de uma base de dados do tráfego na área controlada que pode auxiliar na análise contínua do tráfego (PEEK, 2001).

Além das adaptações da programação semafórica serem implementadas automaticamente pelo sistema, também podem ser realizados ajustes em tempo real na central de controle.

Além da coleta de dados, o SCOOT possibilita o monitoramento contínuo dos equipamentos semafóricos, ou seja, caso uma lâmpada queime ou a porta de um controlador seja aberta, é enviado imediatamente um sinal para o computador central para que sejam tomadas as devidas providências.

No início da década de 80, foram realizados estudos em cidades inglesas que utilizavam o sistema SCOOT, os quais indicaram uma redução média no atraso, ao longo do dia, de 12% sobre sistemas com planos atualizados de tempo fixo e 20% sobre sistemas típicos com planos já degradados pela evolução do tráfego no tempo (Robertson, 1986). Em 1993, ganhos médios diários também foram encontrados em um projeto de demonstração do SCOOT em Toronto, Canadá (Tau, 1995). Já estudos desenvolvidos por STEWART *et al.* (1998) mostraram que os sistemas de controle em tempo real tendem a produzir menores tempos de viagem quando os níveis de demanda do tráfego evoluem de forma lenta.

Um estudo comparativo realizado por LOUREIRO *et al.* (2002), entre o desempenho do controle semafórico adaptativo, baseado no sistema SCOOT, e a utilização de planos de tempo fixo otimizado para períodos específicos de pico do tráfego, o qual utilizou os indicadores atraso e volume de tráfego atendido, concluiu que o controle em tempo real foi mais eficaz em reduzir atrasos do que em aumentar os volumes atendidos, especialmente em casos onde as aproximações eram mais saturadas.

2.3.4 Quanto ao Modo de Controle

Os semáforos foram classificados quanto ao modo de controle em dois tipos:

- Não Centralizados

São semáforos que não se comunicam com uma central de controle. Tem como vantagem requerer menos investimentos com capital, porém apresentam diversas desvantagens como dificuldade de alteração dos planos, da percepção de falhas como queima de lâmpadas, dentre outros.

- Centralizados

São semáforos que possuem comunicação com uma central de controle, sendo assim, possível verificar os tempos semaforicos, defasagens, falhas dos equipamentos e ainda fazer alterações em tempo real direto da central, quando detectado algum incidente de trânsito nas vias.

No caso destas alterações, o ideal é a existência conjunta com um sistema de câmeras de forma a auxiliar a alteração dos parâmetros. No caso da inexistência da câmera, é essencial a comunicação entre a central e uma fonte de informação em campo.

É importante salientar que na literatura, é observada também uma classificação semaforica quanto ao modo de controle como sendo fixo, adaptado, semi-adaptado ou atuado, gerando confusão quando comparada ao modo de operação. A forma de classificação considerada neste trabalho utilizou como orientação para o modo de controle a existência ou não de uma central de controle dos semáforos.

2.4 CRITÉRIOS UTILIZADOS PARA A DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONFIGURAÇÃO SEMAFÓRICA

Nessa seção, são apresentados alguns critérios existentes para definir o modo de coordenação, modo de controle e de operação semaforica. Considerando que semáforos coordenados devem ter tecnologias compatíveis, de modo que seja possível a coordenação, serão apresentados inicialmente critérios utilizados para definir a coordenação entre semáforos.

2.4.1 Critérios Utilizados para Definição do Modo de Coordenação

A definição do modo de coordenação é um dos pontos principais a serem definidos na concepção de uma rede de semáforos, pois ao identificar os cruzamentos que devem ser coordenados, necessariamente está se definindo que os mesmos deverão possuir o mesmo tipo de tecnologia.

AL KHALILI (1975) investigou a coordenação entre semáforos e concluiu em seu trabalho que quando os cruzamentos de uma subárea (grupo de coordenação) possuem seus ciclos ótimos variando de -20% a +40% do ciclo ótimo do cruzamento principal, os atrasos e paradas dos veículos são minimizados, sendo benéfica a

coordenação. Também são ressaltados neste trabalho alguns outros pontos que devem ser considerados, estes são: a proximidade dos semáforos aos limites da sub-área e a adequação das vias secundárias aos esquemas de coordenação.

Outro critério que limita a coordenação semafórica é a imposta pelo tipo de controlador existente no semáforo. Este impedimento, entretanto, deve ser contornado, pois ainda que a substituição dos controladores represente uma elevação de custo, a melhoria das condições de fluidez do tráfego resulta em benefícios como uma redução no consumo de combustível, tempo de viagem, nos índices de poluição, dentre outros, que justificam o investimento realizado.

Existem alguns manuais que apresentam aspectos a serem considerados na definição da coordenação entre semáforos, estes são apresentados a seguir.

- Estados Unidos

O *Manual Uniform Traffic Control Devices* – MUTCD (Federal Highway Administration - FHWA, 2003) estabelece que devam ser coordenados os semáforos que estejam localizados em uma rota de tráfego principal ou em uma rede que intercepte as principais rotas de tráfego, desde que a distância entre os semáforos seja igual ou menor a 800 metros. Entretanto, o manual não estabelece critérios para identificar vias que possam ser consideradas como rotas de tráfego, sendo, portanto uma decisão subjetiva dos técnicos.

- Escócia

O Manual da Escócia - *Criteria for Traffic Light Signals at Junctions* – desenvolvido pelo *Scottish Executive Development Department* - SEDD (1973) também apresenta o critério distância para determinar a coordenação entre semáforos. O manual afirma que pode ser benéfico coordenar semáforos que estejam separados por distâncias de até 300 metros. No caso de distâncias maiores, se for observado que os pelotões continuam compactos, também é recomendável a coordenação.

Percebe-se que o manual da Escócia, só leva em consideração o aspecto distância entre semáforos e a dispersão de pelotões e, esse último critério, por depender de observações do técnico, assim como o MUTCD, torna a avaliação bastante subjetiva.

- Brasil

O Manual de Semáforos do DENATRAN (1984) lista alguns critérios para definir se um semáforo irá ser coordenado a outro ou operar de forma isolada:

- *Relação Geográfica*

Utiliza o tempo de percurso entre duas interseções semaforicas como parâmetro, sendo consideradas sempre interseções adjacentes.

- *Volume de Tráfego*

Este parâmetro é considerado importante, pois quanto maior for o volume de veículos nas vias, mais se fará necessária a coordenação.

- *Características do Fluxo*

Uma característica fundamental do fluxo para atestar a importância ou não da coordenação semaforica trata-se do padrão de chegada dos veículos na aproximação. Caso a taxa de chegada de veículos na aproximação seja constante, ao longo do ciclo, então o período de vermelho produzirá os mesmos valores de atraso e paradas, independente do instante do início do vermelho no ciclo. Porém, se o padrão de chegada dos veículos forem pelotões cíclicos, haverá uma redução no atraso e número de paradas, caso seja feita a coordenação. Vale ressaltar que a relação geográfica de espaçamento entre semáforos citada anteriormente é um dos parâmetros que influencia no padrão de chegada dos veículos, onde à medida que semáforos adjacentes se distanciam, tem-se uma dispersão dos pelotões, alterando o fluxo de chegada para uma distribuição mais uniforme de veículos.

O Manual de semáforos do DENATRAN (1984) definiu um índice de interdependência como um critério racional e quantitativo para se considerar a necessidade de coordenação entre dois cruzamentos. O mesmo está definido na Equação 2.1.

$$I = \frac{0,5}{1+t} * \left(\frac{x * q_{\max}}{q_1 + q_2 + \dots q_x} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Em que:

I = Índice de interdependência;

t = tempo de percurso (min.) entre ambos os semáforos, que é o comprimento do trecho dividido pela velocidade média dos veículos;

x = número de faixas de tráfego que escoam os veículos procedentes do cruzamento anterior;

q_{\max} = fluxo direto procedente do trecho anterior;

$q_1 + q_2 + \dots + q_x$ = fluxo total que chega à interseção.

A Equação 2.1 relaciona os três critérios mencionados pelo DENATRAN (1984).

O índice de interdependência assume valores compreendidos entre 0 e 1 representando as condições de menor e maior necessidade de coordenação. O DENATRAN (1984) apresenta uma escala para se ter um auxílio na decisão final.

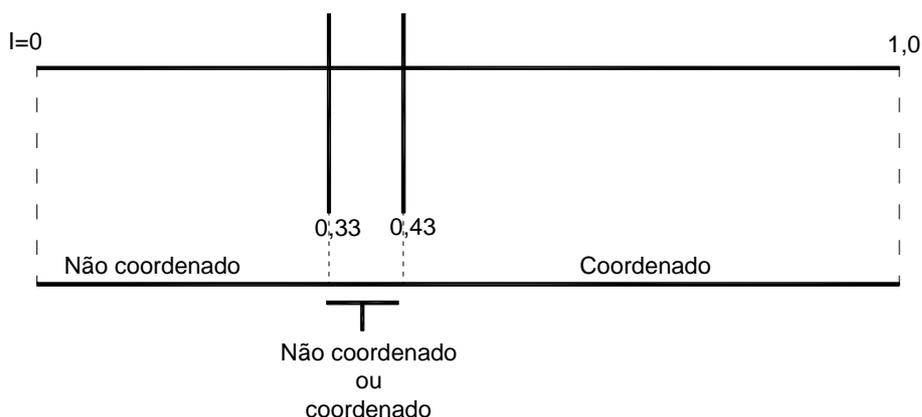


Figura 2.4: Escala do Índice de Interdependência
Fonte: DENATRAN (1984)

Ao comparar com os parâmetros utilizados nos manuais anteriores, pode ser observado que o manual do DENATRAN leva em consideração mais fatores, relacionando três critérios (distância, volume de tráfego e características do fluxo) com a utilização da Equação 2.1, além de estabelecer uma escala para auxiliar o técnico na decisão. Considerando também o fato de se tratar de um método proposto para a realidade do trânsito brasileiro, seu uso é mais recomendado, entretanto, o mesmo deve ser analisado, de modo a identificar se ainda se adéqua ao tráfego atual, pois se trata de um método muito antigo.

Durante um estudo realizado pela Associação Técnico Científica Eng^o Paulo de Frontin (ASTEFC, 1998) para implantação do Sistema Centralizado de Controle de Tráfego em Fortaleza - CTAFOR, foi definido um método para identificar grupos de coordenação semafórica. Como primeiro passo, foi calculado o Índice de Interdependência, conforme proposto pelo DENATRAN, para cada par de interseções. Além disso, foram considerados outros aspectos, tais como, um limite máximo de 500 metros de distância entre as interseções, existência de barreiras naturais e/ou artificiais entre os cruzamentos, além da existência de PGV's no trecho entre os semáforos.

Atualmente o CTAFOR utiliza outro método para definir a coordenação entre semáforos. Trata-se da compatibilidade das extensões dos ciclos entre os semáforos, que deverão possuir o mesmo valor, podendo apresentar valores diferentes, apenas no caso em que o comprimento de ciclo do menor semáforo corresponda à metade da extensão do tempo de ciclo observado no outro semáforo. Caso haja uma diferença significativa dos valores obtidos, é descartada a possibilidade de coordenação. A exceção para este caso se observa quando é possível a utilização de ciclo duplo, onde o semáforo com menor ciclo possui a metade do comprimento do ciclo do outro semáforo.

Na Figura 2.5 se encontra a escala para definição da coordenação, com um fator de correção de 10 %.

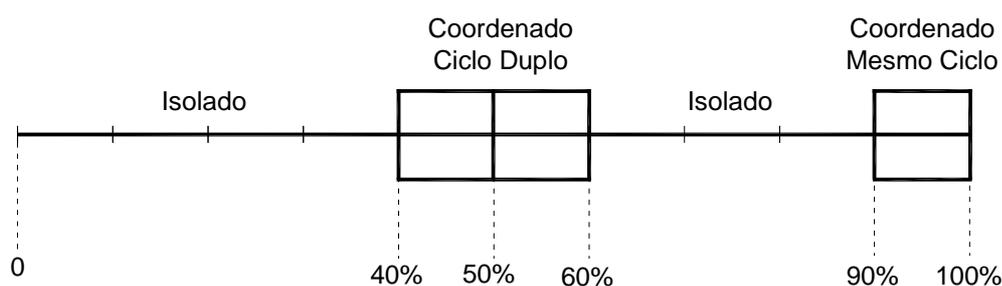


Figura 2.5: Escala para definição da coordenação de acordo com a diferença de ciclo

Caso ambos os semáforos apresentem valores de ciclo muito próximos, é possível promover sua coordenação. Entretanto, esta decisão será embasada em

vistorias em campo, onde os técnicos avaliam a defasagem a ser implementada entre estes semáforos, de forma a oferecer melhores condições de fluidez ao local.

Entretanto, os ciclos representam somente a etapa inicial da definição do modo de coordenação, pois o mesmo é escolhido por meio de vistorias em campo, onde o técnico observa o tráfego local e avalia se a coordenação resulta numa maior fluidez.

2.4.2 Critérios para Definição do Modo de Operação

Os semáforos foram classificados no início do Capítulo 2 quanto ao modo de operação em cinco tipos: fixo (podendo ser monopiano ou multiplano), semi-adaptado pelo tráfego, adaptado ou atuado pelo tráfego.

Foi visto anteriormente que o tipo de operação atuado pelo tráfego difere do tempo fixo por se adequar, de certa forma, aos volumes veiculares, apresentando esta vantagem que o credencia a substituir completamente a utilização de semáforos de tempo fixo. Sendo assim, para a abordagem utilizada neste trabalho não serão definidos critérios para identificar os semáforos que necessitam operar em tempo fixo, somente em tempo real.

Não é comum na literatura critérios para definir quando é mais vantajoso que um semáforo opere em tempo real. O Plano Diretor de Semáforos de São Paulo, desenvolvido pela Companhia de Engenharia de Tráfego - CET (CET, 2006) define dois critérios, um a ser utilizado em redes semafóricas coordenadas e outro para semáforos isolados. Ambos os critérios levam em consideração o parâmetro saturação.

A CET (2006) afirma que o controle em tempo real possui maior eficácia nos semáforos integrantes de redes saturadas coordenadas. O método utilizado na cidade de São Paulo para identificar os semáforos pertencentes a redes com um alto grau de saturação foi o tamanho do ciclo vigente dos semáforos, ou seja, os semáforos que possuem o ciclo igual ou superior a 110 segundos durante pelo menos sete horas de um dia útil.

Segundo VILANOVA (2005), o grau de saturação de um link, o que costuma ser representado pelo símbolo x , reflete, em termos práticos, seu nível de carregamento, ou seja, a relação entre o número de veículos que desejam passar e o número de veículos que pode conseguir passar durante certo período de tempo. Sendo assim, este método da

CET (2006) se mostra eficaz para identificar semáforos saturados, pois se a saturação representa uma relação entre o volume veicular da via e a sua capacidade, então quando é necessário aumentar o ciclo desta via, significa que o tempo do semáforo não está mais atendendo os veículos existentes no cruzamento.

Já para os semáforos isolados, a CET (2006) afirma que os considerados saturados devem operar em modo tempo real, pois quanto maior a faixa disponível de variação dos tempos de verde, maior a eficácia do modo adaptado isolado. Para identificar esses semáforos, a CET definiu um critério baseado na variação de ciclos, o qual afirma que os semáforos isolados saturados são os que não integram uma rede coordenada e que apresentam uma diferença igual ou superior a 90 segundos entre o maior e o menor tempo de ciclo.

O método utilizado pela CET para definir semáforos que devem ter o modo de operação tempo real, apresenta a saturação como um fator decisivo. Foram consideradas saturadas, redes que possuem ciclos altos em longos períodos do dia e semáforos que possuem uma grande diferença de tempos entre o maior e menor ciclo. A definição do ciclo é muitas vezes baseada no volume do cruzamento, o que justifica a identificação pela CET de semáforos saturados baseada nos ciclos.

- *Fortaleza*

Como todos os cruzamentos que operam hoje em Fortaleza em tempo real são centralizados a uma central de controle, a metodologia que foi utilizada para definir os semáforos para operar em tempo real estará detalhada na seção a seguir.

2.4.3 Critérios para Definição do Modo de Controle

Não é muito comum na literatura critérios para definir cruzamentos que necessitam ter um controle centralizado. Entretanto, para identificar os primeiros semáforos que deveriam ser centralizados em Fortaleza, a ASTEF (1998) definiu um método, baseado na técnica DELPHI. Este método tem o objetivo de facilitar o consenso, não necessariamente unânime, entre especialistas da área em estudo, em casos onde existe grande carência de dados sobre o fenômeno analisado.

O objetivo da aplicação da técnica DELPHI foi determinar hierarquicamente o grau de importância dos semáforos, em vista o potencial individual de cada cruzamento.

Para isto, foi elaborado um questionário e este foi respondido por dez técnicos com experiência no sistema de tráfego de Fortaleza. O questionário foi composto por doze critérios, os quais estão listados a seguir.

- a) A magnitude dos fluxos de tráfego que demandam a interseção;
- b) A interseção é considerada como fator de impedância para os deslocamentos no sentido leste-oeste da cidade;
- c) A interseção é considerada como fator de impedância para os deslocamentos no sentido norte-sul da cidade;
- d) O cruzamento possui um potencial de geração de travamento da interseção a montante;
- e) O cruzamento está situado em área de grande adensamento de uso-do-solo, com muitos PGV's, que podem influenciar o desempenho de esquemas de controle da interseção;
- f) A interseção está situada próxima a equipamentos urbanos especiais (hospitais, escolas, clínicas, etc.);
- g) A interseção constitui importante ponto crítico na rede viária da área de estudo;
- h) A interseção faz parte de um corredor muito utilizado por linhas de transporte coletivo por ônibus;
- i) O cruzamento é intensamente utilizado por pedestres;
- j) A interseção pertence à importante rota de caminhões;
- k) O cruzamento possui geometria e/ou topografia desfavorável à boa circulação, só corrigível com alto custo;
- l) O cruzamento possui canais de aproximação afetados por pontos de táxi ou estacionamento próximos.

CAPÍTULO 3

MÉTODO PROPOSTO

3.1 INTRODUÇÃO

Neste Capítulo será apresentado o método proposto para identificar semáforos candidatos a terem a tecnologia de operação e controle atualizados. Inicialmente será analisada a metodologia para a definição da coordenação semafórica utilizada pelo DENATRAN (1984), uma vez que além deste recurso facilitar a melhoria das condições de fluidez do tráfego, a coordenação demanda a existência de tecnologia compatível entre semáforos para permitirem sua implementação.

3.2 ANÁLISE DO MÉTODO PROPOSTO PARA A DETERMINAÇÃO DA COORDENAÇÃO ENTRE SEMÁFOROS

O modo de coordenação entre semáforos deve ser avaliado inicialmente, pois semáforos coordenados devem ter o mesmo modo de controle e operação.

O método proposto pelo Manual de Semáforos do DENATRAN, apresentado no Capítulo 2, utiliza o Índice de Interdependência, que considera 3 (três) aspectos simultaneamente: tempo de percurso entre os semáforos, volume de tráfego e características do fluxo; sendo mais abrangente que os demais métodos estudados. Este índice será avaliado neste trabalho para verificação de sua adequação à realidade de Fortaleza, etapa a ser desenvolvida no Estudo de Caso, apresentada no Capítulo 4. Desta forma, será possível verificar se a escala proposta pelo DENATRAN está compatível com as condições de tráfego observadas na cidade. Para tanto serão escolhidos corredores que operam satisfatoriamente de forma coordenada e isolada na rede semafórica, sendo em seguida calculado o Índice de Interdependência entre estes semáforos da rede.

3.3 MÉTODO PROPOSTO PARA A HIERARQUIZAÇÃO DE SEMÁFOROS A RECEBEREM ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Na proposição de um método para identificar os cruzamentos semaforizados prioritários para a implantação do tempo real, diversos aspectos devem ser levados em consideração. Uma maneira possível para o desenvolvimento desta tarefa é através da utilização de simuladores de tráfego. Entretanto, para a utilização deste recurso, é necessária uma extensa coleta de dados de tráfego em campo. Como alternativa a esta abordagem, podem ser utilizados métodos de análise multicritério, como por exemplo, a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA). Diferentemente das abordagens tradicionais de decisão, que surgiram com o desenvolvimento da Pesquisa Operacional, após a Segunda Guerra Mundial, a análise multicritério constitui-se em um novo paradigma para analisar contextos decisórios e auxiliar à tomada de decisão (BOUYSSOU,1989).

A MCDA, diferente da simulação, exige a coleta de menos dados em campo, permitindo ainda que sejam testados tanto aspectos objetivos como subjetivos no contexto decisório. Além disto, este método possibilita que sejam definidos pesos para cada critério considerado, permitindo a obtenção de um modelo de avaliação global, onde são considerados todos os aspectos conjuntamente. Desta forma, para a definição dos modos de controle e operação, foi utilizada a metodologia MCDA, cujas etapas de desenvolvimento estão detalhadas neste Capítulo. Por se tratarem de avanços tecnológicos intrinsecamente relacionados, ambos foram definidos em conjunto, no mesmo modelo de avaliação proposto. O objetivo deste modelo é identificar os semáforos onde a atualização de suas tecnologias irá resultar numa melhoria de operação mais significativa na rede de semáforos.

Nos Capítulos anteriores, foram definidos dois tipos de modo de controle semafórico e cinco de modo de operação. Entretanto, foi observado que o modo centralizado em tempo real apresenta melhores vantagens, quando comparado aos demais.

Sendo assim, o modelo multicritério desenvolvido tem como objetivo identificar os semáforos que deverão ter uma atualização tecnológica, de forma a mudarem sua tipologia para centralizados em tempo real.

Os semáforos em meio de quadra exclusivos para pedestres não serão analisados no modelo proposto, pois não se observam vantagens significativas quanto à sua centralização em tempo real. A exceção a este caso ocorre se este semáforo for coordenado a outro semáforo instalado em interseção, e classificado como prioritário segundo o modelo de avaliação, de modo que não seja perdida a coordenação.

3.3.1 A Metodologia MCDA – Convicções Fundamentais

A metodologia MCDA está embasada nas seguintes convicções fundamentais (Bana e Costa, 1993):

- a) Na etapa de tomada de decisão devem ser considerados tantos os aspectos objetivos como subjetivos. Estes aspectos considerados inseparáveis e interconexos num processo decisório, onde os de natureza subjetiva estão associados a julgamentos de indivíduos participantes do processo e os objetivos são decorrentes das características das opções.
- b) A adoção do construtivismo na busca da identificação de hipóteses de trabalho para se fazer recomendações, levando assim à construção do problema tem o intuito de se fazer possível que os atores envolvidos no processo decisório progridam de acordo com seus valores e objetivos (Holz *et al.*, 1996).
- c) A aprendizagem pela participação. Por meio da interatividade entre os atores, obtêm-se um processo de discussão crítica, chegando ao produto desta interação que é a construção de uma estrutura partilhada pelos intervenientes no processo. O inter-relacionamento do subsistema de ações com o subsistema de atores compõe o sistema do processo de apoio à decisão.

3.3.2 Etapas da Aplicação da Metodologia MCDA

- **Atores Envolvidos**

Como passo inicial num processo de Apoio à Decisão, devem ser identificados os atores envolvidos na tomada de decisão e escolhidos os decisores que participarão ativamente na construção do modelo (Ensslin, Montibeller Neto e Noronha, 2001). Segundo ROY (1996), os atores são todos os indivíduos envolvidos, direta ou

indiretamente, no processo de tomada de decisão e que possuem um mesmo sistema de valores.

Os atores podem ser classificados em dois tipos: intervenientes e agidos (Bana e Costa, 1995a). Os atores intervenientes têm o poder de decisão, tendo uma influência direta na obtenção de posicionamentos e na definição das ações a serem tomadas. Já os atores agidos não possuem participação direta no processo de decisão, apesar de poderem pressionar os demais atores e influenciar indiretamente seu sistema de valores, por serem afetados pelas decisões tomadas.

Dentre os intervenientes podem-se distinguir três tipos de atores: decisores, facilitador e representante. O decisor é um indivíduo ou um grupo que tem o poder da tomada de decisão e a responsabilidade pelas suas implicações. O facilitador é responsável pela intermediação do processo decisório, dando suporte à comunicação entre os decisores, orientando-os a respeito dos procedimentos a serem adotados, levando a uma solução comum, entretanto não é neutro no processo decisório, portanto o influencia. O representante corresponde aquele ator que possui o poder de representar o decisor no processo decisório, fazendo a intermediação entre o decisor e o facilitador.

Para a construção do modelo multicritério são desenvolvidas as etapas de estruturação e avaliação do modelo, conforme descrito a seguir:

- Fase de Estruturação do Modelo Multicritério

Esta é uma etapa de extrema importância para o desenvolvimento de um modelo realmente representativo, devendo abranger os aspectos elucidativos no processo de decisão. A análise crítica dos aspectos abordados pelos decisores gera um melhor entendimento do problema, ao mesmo tempo em que se estabelece um processo de aprendizagem contínua entre os decisores, surgem novas interpretações, cabendo ao facilitador captar todo o potencial deste processo, traduzindo assim o sistema de valor dos decisores e uniformizando seus conhecimentos. A fase de estruturação é composta de cinco etapas:

- *Definição do Problema*

Um problema pode ser definido como uma situação a qual o decisor pretende modificar, mas não está seguro de como. A definição de um problema constitui uma representação, comumente de modo lingüístico, mas potencialmente através de um meio de representação. Os mapas cognitivos auxiliam na representação do problema do decisor, sendo assim uma ferramenta para definição do problema.

○ *Definição dos Elementos Primários de Avaliação*

Na construção do mapa, é normalmente utilizada a técnica de *brainstorming* (Osborn, 1993), com o decisor ou grupo de decisores com o objetivo de identificar os elementos primários de avaliação. Estes são constituídos de objetivos, metas, valores dos decisores, bem como de ações, opções e alternativas, e que constituem a base para construção do mapa cognitivo.

○ *Identificação dos Pontos de Vista Fundamentais*

Os Pontos de Vista Fundamentais (PVFs) correspondem aos eixos de avaliação do problema. Podem ser definidos como qualquer aspecto considerado fundamental por pelo menos um decisor para avaliação do problema. Explicitam os valores que os decisores consideram importantes no contexto decisório.

Um conjunto de PVFs deve obedecer a uma série de propriedades como detalhado a seguir (Dutra, 1998; Ensslin, Montibeller Neto e Noronha, 2001):

- Essencial: o PVF deve considerar os aspectos de fundamental importância aos decisores, de acordo com seus sistemas de valores;
- Controlável: o PVF deve representar um aspecto que apenas seja influenciado pelas ações potenciais em questão;
- Completo: o conjunto de PVFs deve incluir todos os aspectos considerados fundamentais pelos decisores;
- Mensurável: o PVF deve permitir especificar, com a menor ambigüidade possível, a performance das ações potenciais;
- Operacional: o PVF deve possibilitar coletar as informações requeridas sobre a performance das ações potenciais, dentro do tempo disponível e com um esforço viável;

- Isolável: o PVF permite a análise de um aspecto de forma independente com os demais aspectos do conjunto;
 - Não-redundante: o conjunto de aspectos não deve levar em consideração o mesmo aspecto mais de uma vez;
 - Conciso: o número de aspectos considerados pelo conjunto de PVFs deve ser o mínimo necessário para que o problema seja modelado adequadamente de acordo com a opinião dos decisores;
 - Compreensível: o PVF deve ter um significado claro para os decisores, de forma que seja possível uma comunicação clara de idéias.
- *Construção da Arborescência dos Pontos de Vista*

A partir da identificação dos Pontos de Vista Fundamentais, pode-se ter sua representação por meio de uma estrutura chamada Arborescência dos Pontos de Vista, a qual possui os seguintes componentes.

- a) Objetivo estratégico: são todos os aspectos revelados pelos decisores no contexto decisório;
- b) Área de interesse: é todo o agrupamento de conceitos que traduzem os aspectos semelhantes;
- c) Ponto de vista fundamental: aspecto que os decisores consideraram importante no contexto decisório;
- d) Ponto de vista elementar: auxilia na avaliação das ações, fornecendo uma melhor explicação dos PVFs.

A Figura 3.1 representa uma estrutura que torna possível observar mais claramente todos os aspectos considerados importantes no contexto decisório, facilitando a compreensão dos atores envolvidos e auxiliando a construção dos descritores.

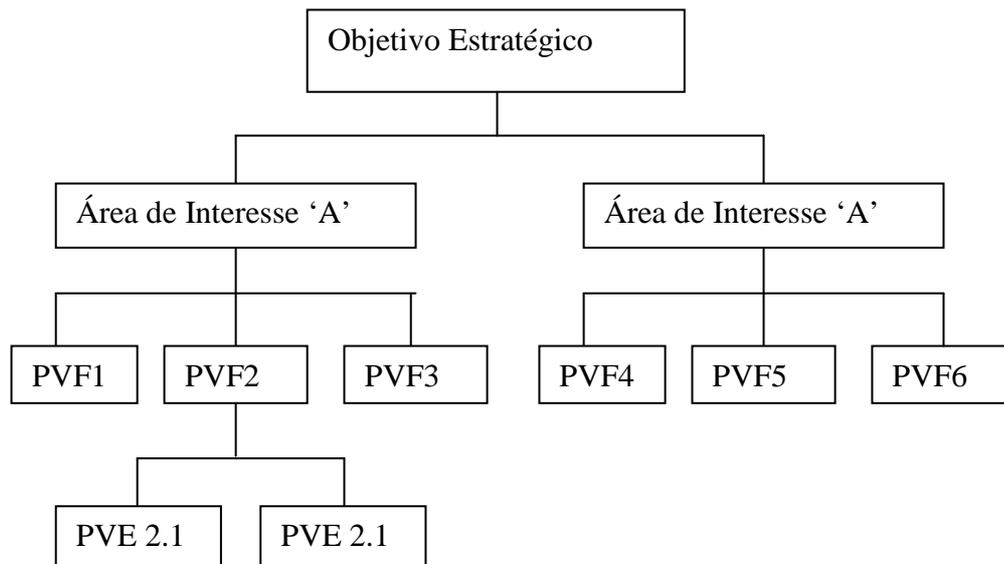


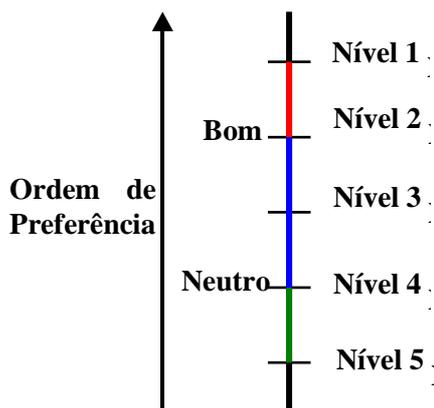
Figura 3.1: Modelo de arborescência dos Pontos de Vista

o *Construção dos Descritores*

Os descritores constituem um conjunto de níveis que são utilizados como base para descrever impactos das ações potenciais em cada ponto de vista fundamental (Bana e Costa, 1992). Sua função é mensurar o grau em que um determinado descritor é atingido. Um descritor deve possuir as seguintes propriedades (Keeney, 1996):

- a) Mensurabilidade: os níveis de impacto devem ser bastante claros, de forma a não deixar dúvidas quanto ao aspecto avaliado;
- b) Operacionalidade: os descritores devem ser capazes de descrever as possíveis conseqüências quanto a um ponto de vista e deve ser permitido o julgamento de valores entre os níveis de impacto destas ações e entre outros pontos de vista;
- c) Inteligibilidade: devem ser bem entendidas por todos tanto a descrição das conseqüências de uma dada ação, quanto à interpretação desta conseqüência em relação a um ponto de vista.

A Figura 3.2 exemplifica o descritor com seus diversos níveis e zonas.



Zona acima das expectativas do decisor
Zona dentro das expectativas do decisor
Zona abaixo das expectativas do decisor

Figura 3.2: Exemplo de um descritor com seus níveis e zonas.

- Fase de Avaliação

Após a construção dos descritores, é iniciada a avaliação do modelo. Esta fase é constituída pela realização de julgamentos absolutos de diferença de atratividade entre os níveis de um descritor, obtendo-se assim as funções de valor que irão traduzir o grau de atratividade deste descritor. Em seguida, são calculadas as taxas de substituição, que são responsáveis por determinar o grau de importância dado a cada ponto de vista para a obtenção das preferências globais.

- *Funções de Valor*

Representam os julgamentos dos decisores, por meio de uma escala numérica, que possui uma descrição de suas preferências com relação à avaliação de ações. As funções de valor podem ser obtidas mediante julgamentos semânticos realizados pela comparação da diferença de atratividade entre duas ações potenciais quaisquer, sempre aos pares (Beinat, 1995; Larichev e Moshkovich, 1997).

Um dos métodos do julgamento semântico é o *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), desenvolvido por BANA E COSTA e VASNICK (1995). O *software* MACBETH SCORES utiliza modelos de programação linear para determinar funções de valor, de forma a representar os julgamentos dos decisores (Wagner, 1986).

O MACBETH utiliza uma escala semântica para definir as diferenças de atratividade entre as ações, escala esta composta de sete categorias, como apresentado na Figura 3.3.

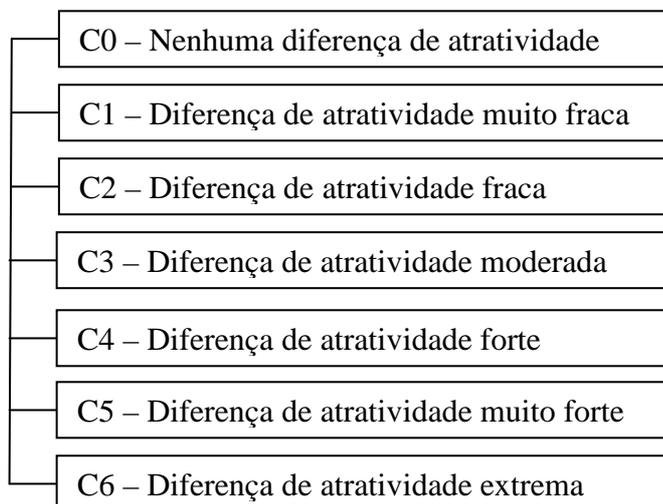


Figura 3.3: Escala semântica utilizada pelo *software* MACBETH SCORES

As ações a serem avaliadas devem ser ordenadas a um nível decrescente de atratividade, então devem ser avaliadas par a par, e a partir do grau de atratividade, é construída uma matriz, denominada matriz semântica. Com estas matrizes, o *software* MACBETH SCORES processa os valores, verificando a consistência semântica e cardinal da função de valor do descritor.

Após o cálculo da função de valor, deve-se fazer um reescalonamento, onde é atribuída a pontuação 0 (zero) para o nível Neutro e a pontuação 100 (cem) para o nível Bom (Greco, 1997; Bana e Costa e Vasnick, 1997). Esta transformação é realizada para que a faixa de variação entre as funções de valor tenha atratividades equivalentes em todos os descritores, permitindo a transformação dos valores locais de preferência dos descritores em valores globais. Estes dois níveis são utilizados como referência para reconhecer as ações com performances em nível de excelência (acima do nível considerado bom), com performances competitivas (entre os níveis Bom e Neutro) e com performances comprometedoras (abaixo do Nível Neutro).

○ *Taxas de Substituição*

São utilizadas para determinar a importância relativa dos diversos pontos de vista existentes num modelo multicritério. Constitui os fatores que determinam a contribuição de um dado ponto de vista ao valor global de uma ação.

Para a obtenção do cálculo das taxas de substituição, é necessária primeiramente uma ordenação decrescente dos pontos de vista de acordo com seu grau de atratividade. Para isto, às vezes se faz necessária a utilização de uma matriz de ordenamento (Roberts, 1979).

Em seguida, os pontos de vista são comparados par a par da seguinte forma: é questionado ao decisor a diferença de atratividade entre a troca de uma ação A com um impacto no nível bom em um dado critério x e no nível neutro nos demais critérios, e uma ação B com um impacto no nível bom num critério y e no nível neutro nos demais critérios, como ilustrado na Figura 3.4. Para julgamento dos decisores nesta etapa do trabalho, é novamente utilizada a escala semântica apresentada na Figura 3.3.

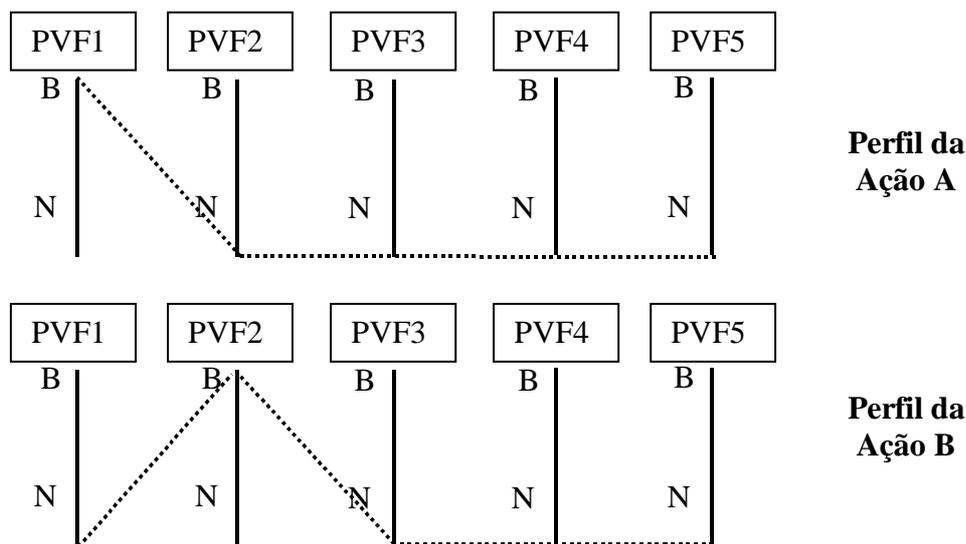


Figura 3.4: Exemplo de Comparação par a par para a obtenção das taxas de substituição entre as ações A e B (adaptado de PEREIRA NETO, 2001)

Com as resposta dos decisores, obtêm-se uma matriz de julgamentos semânticos no software MACBETH WEIGHT, identificando-se as taxas de substituição. Se houver vários níveis hierárquicos de grupos de pontos de vista, devem ser determinadas as taxas de substituição para cada um destes grupos, que são as chamadas taxas internas.

Com a determinação das taxas de substituição, é possível congregiar as avaliações locais das ações, anteriormente determinadas com a construção das funções de valor, em uma avaliação global. O procedimento de agregação aditiva, como afirma BANA E COSTA (1995b), é o mais utilizado em modelos multicritério, por transformar as diversas unidades de atratividade local em unidades de atratividade global.

Posteriormente, estas taxas devem ser apresentadas ao decisor, de modo a se ter certeza se representa realmente seus julgamentos, validando assim os resultados do modelo. Uma das análises possíveis a serem realizadas consiste em traçar perfis de impacto (Belton, 1990) dos desempenhos de ações avaliadas em cada critério utilizado no modelo. Este perfil consiste em um gráfico onde o nome dos critérios é colocado no eixo das abscissas e os desempenhos das ações potenciais no eixo das ordenadas. A partir da análise destes perfis, é possível comparar as performances obtidas, auxiliando na identificação de onde estão localizadas as situações mais críticas para cada aspecto em questão.

Com a validação das taxas de substituição, concluí-se o Modelo Multicritério de Avaliação Proposto.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

4.1 INTRODUÇÃO

No Capítulo 2, foi realizada uma revisão bibliográfica de estudos referentes à Engenharia de Tráfego, com ênfase no controle semafórico e nos métodos existentes para identificação dos equipamentos de controle que necessitam ter sua tecnologia atualizada.

Neste Capítulo é realizada uma caracterização da rede semafórica de Fortaleza. Em seguida é realizada uma aplicação do Índice de Interdependência proposto pelo DENATRAN, visando investigar sua adequação à realidade de Fortaleza. O capítulo encerra com a aplicação da Metodologia MCDA para a construção de um modelo de avaliação, visando a hierarquização dos semáforos da rede que atualmente se caracterizam no modo de operação tempo fixo e modo de controle centralizado.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA REDE

Em setembro de 2000, a Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) implantou um sistema de controle de tráfego em área, denominado de CTAFOR. Ele é composto de três subsistemas, integrados numa mesma central de operações: Circuito Fechado de Televisão (CFTV), Painéis de Mensagens Variáveis (PMV), além do subsistema de controle centralizado de semáforos. A finalidade da implantação deste sistema foi modernizar e melhorar a eficiência da gestão do trânsito nas vias que compõem o sistema viário de Fortaleza (ASTEF, 1998). Os subsistemas permitem que obstruções à fluidez do tráfego sejam precocemente detectadas e removidas, aumentando assim a velocidade média do tráfego e reduzindo atrasos nas interseções semaforizadas, o consumo de combustíveis e a poluição por emissão de gases (Medeiros, Luna e Loureiro, 2001).

O CTAFOR é o atual responsável pela gestão semafórica da cidade, sendo uma divisão da Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza – AMC, entidade responsável pelo trânsito da cidade. Antes da criação do CTAFOR, quem gerenciava a implantação e monitoramento dos semáforos era o Departamento Estadual de Trânsito do Ceará (DETRAN-CE), que após o processo municipalização do trânsito, passou a ser responsabilidade da Empresa de Trânsito e Transporte Urbano de Fortaleza (ETTUSA), entre os anos de 1998 e 2001.

O município de Fortaleza possui um total de 557 semáforos, dados de junho de 2009, sendo 09 (nove) de jurisdição estadual, 02 (dois) federais e 546 de jurisdição municipal, sendo estes últimos controlados pela AMC/CTAFOR (CTAFOR, 2009). Deste total 56% são semáforos convencionais de tempo fixo, exigindo uma constante atividade de manutenção de rotina e emergência. Além dos semáforos existentes, o órgão gestor possui uma grande demanda diária pela implantação de novos semáforos, não existindo um Plano Diretor de Semáforos que auxilie na gestão deste sistema. O atendimento às solicitações ocorre por ordem de prioridade e de acordo com os recursos financeiros disponíveis sem, entretanto, haver uma política de planejamento que defina em quais cruzamentos são observados mais benefícios a substituição de um semáforo obsoleto por outro de tecnologia mais moderna.

Na Figura 4.1, obtida com a utilização do *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) *TransCAD for Windows* (Caliper, 1996), está apresentado o mapa de Fortaleza, sendo que os bairros estão delimitados de cinza e os semáforos são os pontos pretos. Pode-se perceber que a parte norte da cidade é caracterizada por um grande adensamento de semáforos. Esta é composta principalmente pelo Centro (área azul), principal região comercial e pela Aldeota (área laranja), bairro caracterizado por muitos Pólos Geradores de Tráfego e grandes prédios residenciais. Isto demonstra que a cidade de Fortaleza é caracterizada por áreas de maior concentração (área norte), no seu núcleo com mais oferta de infraestrutura, para onde coincide a grande maioria dos deslocamentos. É exatamente nesta área da cidade onde se encontram os maiores problemas de fluidez. Fora deste núcleo estão localizados alguns corredores de tráfego para acesso aos bairros periféricos, como é o caso das Avenidas General Osório de Paiva (corredor rosa), João Pessoa (corredor azul), José Bastos (corredor verde),

importantes corredores de Transporte Coletivo e da Avenida Washington Soares (corredor laranja), atual área de expansão urbana do Município de Fortaleza.

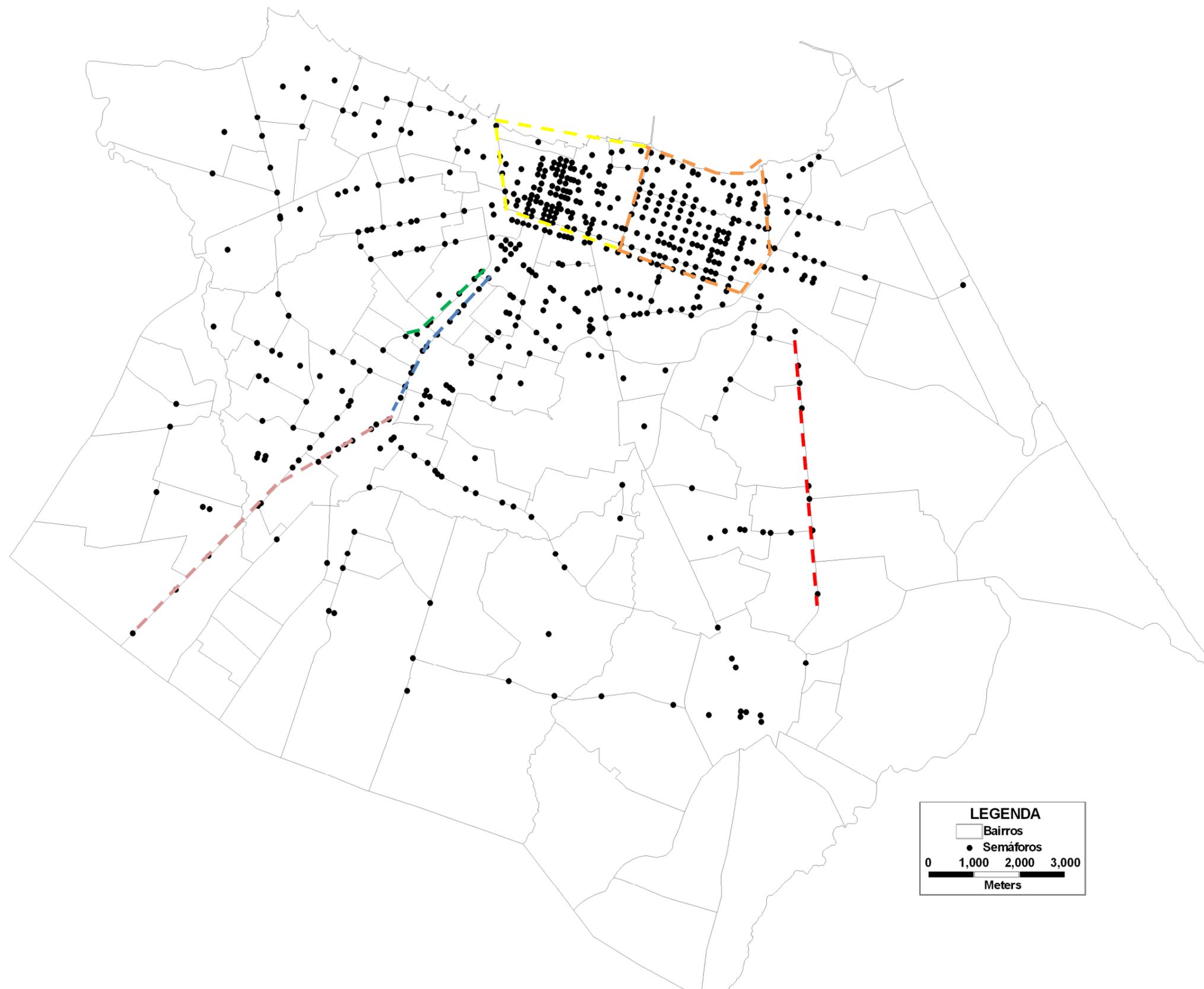


Figura 4.1: Base de Fortaleza com disposição espacial dos semáforos

4.2.1 IMPLANTAÇÃO SEMAFÓRICA

A instalação de semáforos da cidade de Fortaleza é baseada em estudos realizados por engenheiros de tráfego que monitoram a cidade e atendem as solicitações da população, na maioria das vezes relacionados a reclamações por mais segurança no trânsito. São levados em consideração parâmetros como acidentes, volume de veículos e pedestres, dentre outros.

4.2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SEMÁFOROS

No Capítulo 2 foi apresentada uma classificação semafórica baseada nas características dos semáforos. Nesta seção, será realizada uma caracterização da rede semafórica de Fortaleza.

- Quanto ao tipo de usuário atendido

A Tabela 4.1 mostra a porcentagem de semáforos da rede, de acordo com a configuração semafórica.

Tabela 4.1: Configuração semafórica pela porcentagem de semáforos na rede

Configuração Semafórica	Quantidade	%
Exclusivamente Veicular	416	74,7
Veicular com travessia protegida para pedestres	35	6,3
Veicular com estágio demandado para pedestres	93	16,7
Exclusivo para pedestres	48	8,6
Veicular com travessia protegida para ciclistas	13	2,3

A soma da porcentagem acima não é 100% porque um mesmo semáforo pode estar classificado em duas categorias, por exemplo, ele pode ter estágio demandado para pedestre e ter travessia protegida para ciclista.

Percebe-se pela Tabela 4.1 que os semáforos que possuem sinalização específica para os pedestres podem ser classificados em três tipos conforme suas características, e

quando somados representam 31,6% da rede. Esse número pode ser considerado baixo ao se comparar, por exemplo, com a cidade de São Paulo, a qual possui 43% da rede semafórica atendendo também os pedestres. Já os semáforos implantados exclusivamente para atender os conflitos entre veículos motorizados representam 74,7% da rede e, mesmo que esses também facilitem a travessia dos pedestres no cruzamento e em suas proximidades por meio da geração de brechas (tempos sem passagem de veículos), essa porcentagem mostra que a rede semafórica de Fortaleza é muito voltada ao veículo.

AQUINO e PARENTE (2009) fizeram um estudo na rede semafórica de Fortaleza, até Maio de 2009 e identificaram 161 semáforos que possuem as características necessárias o tipo de configuração veicular com travessia protegida para pedestres. Com a aplicação desta modificação, este tipo de semáforo passaria a representar 35% de toda a rede.

- Quanto à tecnologia semafórica

- *Coordenação*

Como visto no Capítulo 2, os semáforos podem ser coordenados ou não. A Figura 4.2 contém a porcentagem de semáforos por modo de coordenação.

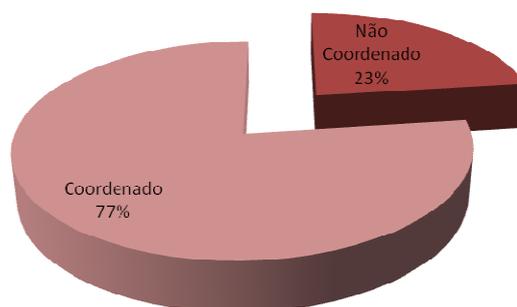


Figura 4.2: Porcentagem de semáforos de Fortaleza quanto ao modo de coordenação.

Percebe-se que grande parte da rede (77%) é coordenada. Em Fortaleza, são identificados semáforos próximos, que possuem características semelhantes, e estes são

reunidos em grupos (no caso dos não centralizados) ou sub-áreas (no caso dos centralizados).

o *Modo de Controle*

Como visto no Capítulo anterior, um semáforo pode ter duas formas de controle: centralizado a uma central de controle ou não centralizado. Em Fortaleza, todos os semáforos que têm comunicação com a central de controle operam em tempo real.

A Figura 4.3 mostra as porcentagens de semáforos quanto aos dois modos de controle em Fortaleza.

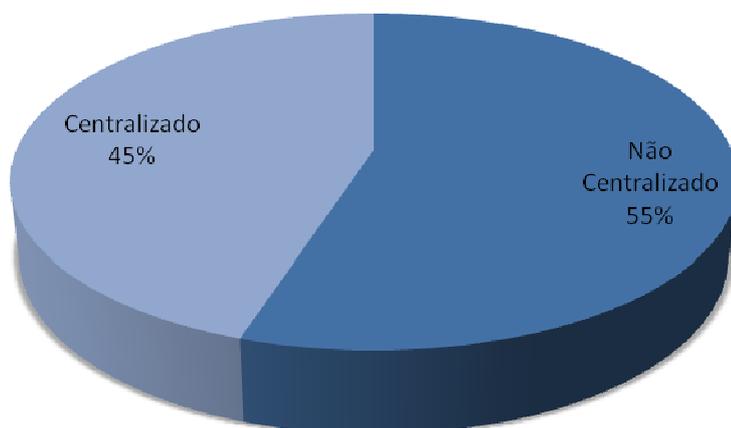


Figura 4.3: Porcentagem de semáforos por modo de controle

Percebe-se que a proporção entre os dois tipos é quase a mesma, porém os semáforos não centralizados ainda estão em maior número. Na Figura 4.4, tem uma comparação entre a porcentagem anual dos dois modos de controle. Percebe-se que entre 2000 e 2003 o número de semáforos centralizados aumentou mais significativamente e a partir de 2003 este ritmo diminuiu de intensidade.

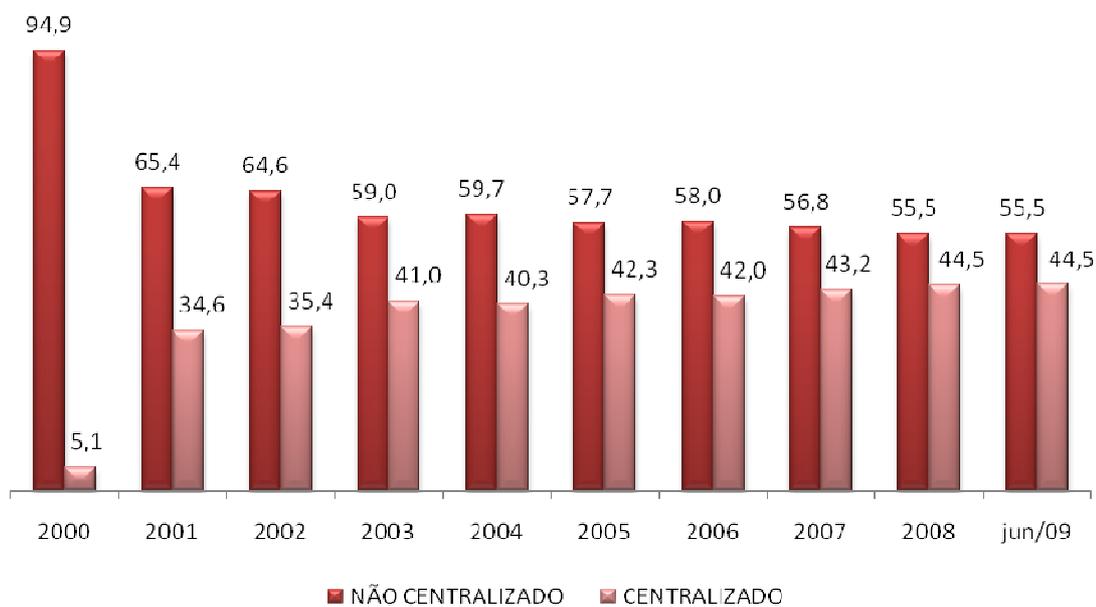


Figura 4.4: Comparação anual da porcentagem de semáforos por modo de controle

A Figura 4.5 mostra a divisão espacial dos semáforos por modo de controle. Percebe-se que os semáforos centralizados estão localizados, em sua maioria na área da Aldeota e em importantes corredores de tráfego mais adensados da cidade.

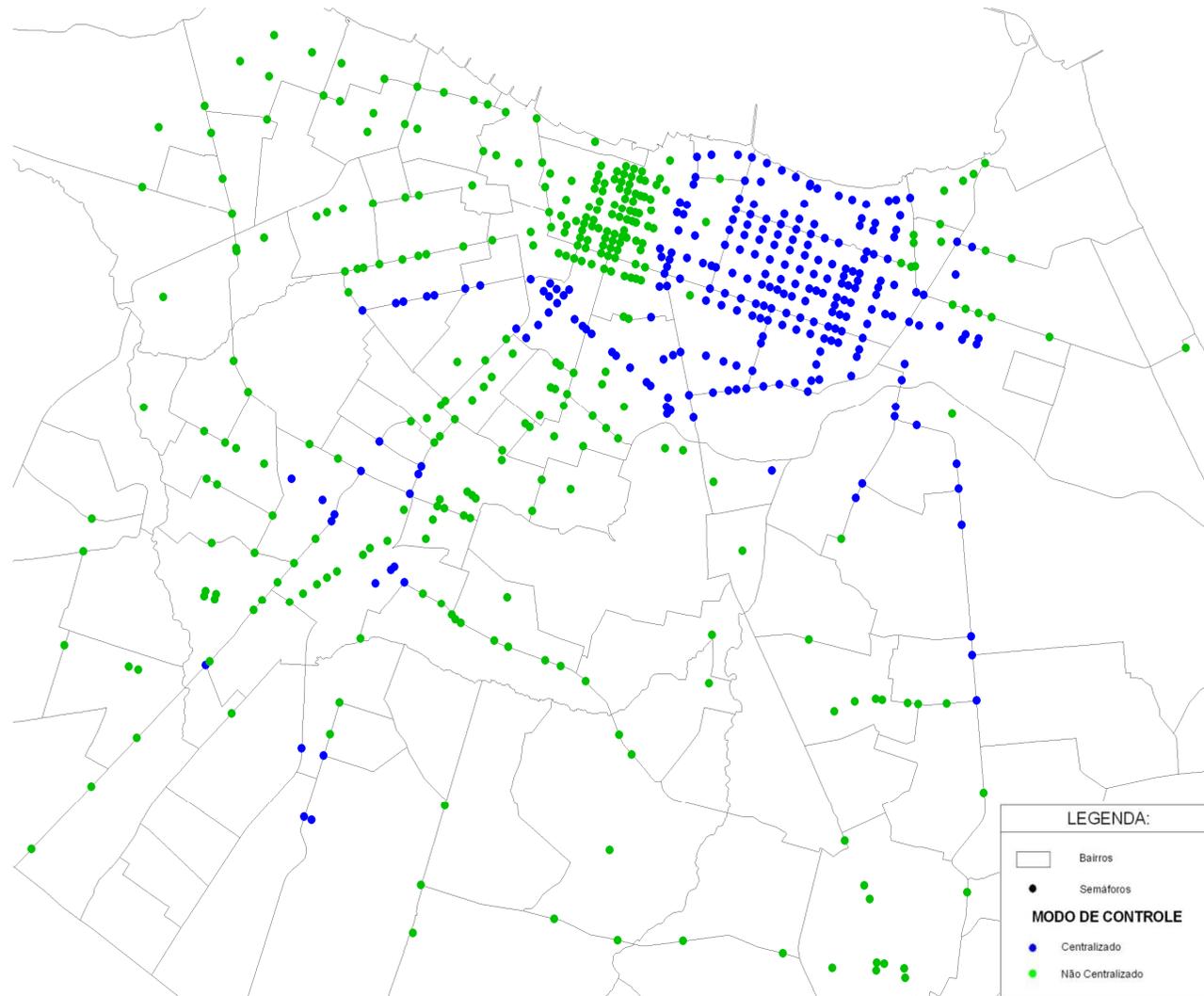


Figura 4.5: Mapa Temático com localização dos semáforos classificados por modo de controle

Os primeiros semáforos centralizados em Fortaleza foram implantados na grande Aldeota e somavam cerca de 150 cruzamentos (Loureiro, Leandro e Oliveira, 2002). Estes foram implantados entre os anos de 2000 e 2001. Em 2002, foram centralizados quatro semáforos considerados críticos.

Em 2003, foi iniciado um projeto chamado Controle Integrado de Transportes (CITFOR), o qual dava prioridade ao transporte público. O projeto piloto foi a linha de ônibus Campus do Pici – Unifor. Todos os semáforos localizados na rota desta linha foram centralizados, assim como os semáforos que eram coordenados a estes, de forma que esta coordenação não fosse perdida. Em 2004 foram centralizados mais quatro semáforos por serem considerados críticos.

Existem 14 semáforos que tiveram os custos de centralização financiados por empreendedores de Pólos Geradores de Tráfego, como uma forma de minimizar os impactos gerados por estes equipamentos ao trânsito local. Esta política foi implementada pela administração municipal a partir de 2005. Existem ainda dois semáforos que foram centralizados de modo a dar maior fluidez aos veículos num desvio de obra viária realizada pela Prefeitura.

Dentre os centralizados, cinco estão localizados numa via estadual (Avenida Washington Soares). O motivo de sua centralização foi devido a esta avenida ter um volume alto de veículos e constantes congestionamentos. Estes semáforos, apesar de serem de responsabilidade do Departamento de Edificações e Rodovias – DER - CE, se comunicam com a mesma central de controle dos semáforos restantes. A distribuição espacial dos semáforos quanto ao ano de centralização encontra-se na Figura 4.6.

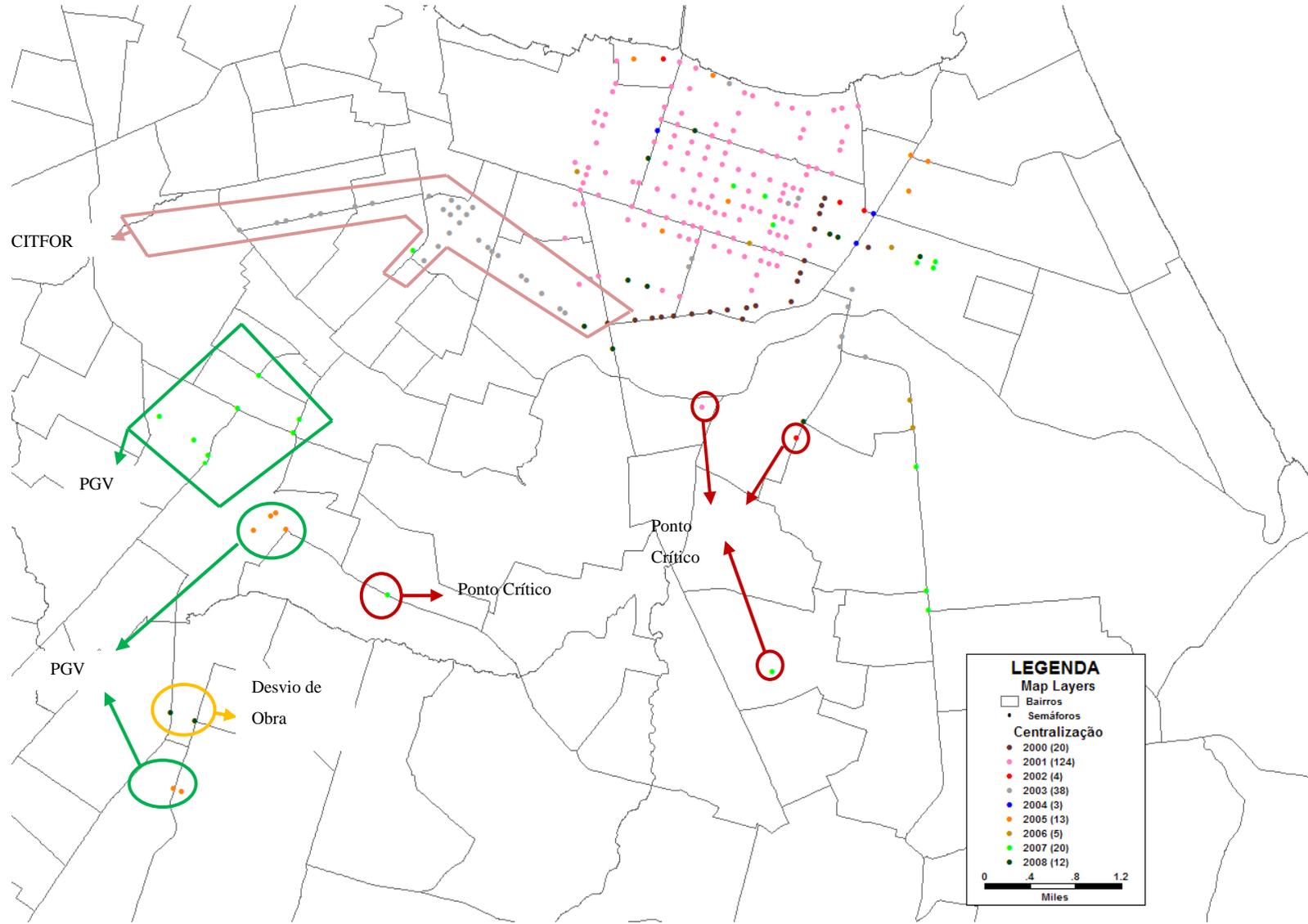


Figura 4.6: Semáforos centralizados por ano de centralização

- *Modo de Operação*

A Figura 4.7 contém a porcentagem de semáforos por modo de operação.

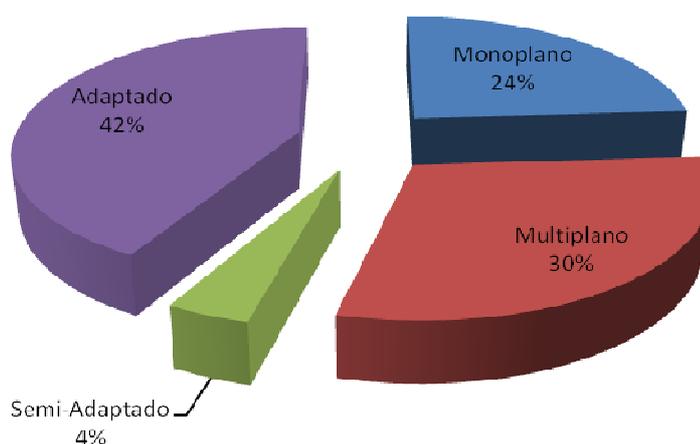


Figura 4.7: Porcentagem de semáforos x modo de operação em Fortaleza

Observa-se que o modo adaptado representa a maioria quando comparado aos demais. Também se percebe que o modo monoplano ainda é encontrado em muitos semáforos. Isto não é favorável à cidade, já que este modo de operação é muito limitado.

A Figura 4.8 mostra a disposição espacial dos semáforos na cidade classificados de acordo com o tipo de operação. Percebe-se que os semáforos monoplanos têm a localização espacial, em grande parte, concentrada no bairro Centro, que apresenta como característica um fluxo de tráfego homogêneo durante o período de funcionamento das atividades comerciais, entre 07:00 e 19:00, alternado com um período de baixo volume nos demais horários. Para este caso particular, o uso de controladores multiplano causa menos impactos negativos, uma vez que o plano pode ser definido para a demanda homogênea observada nos horários de atividades comerciais. Apesar de este plano resultar em ciclo elevado e verde ocioso nos demais horários, esta situação trará impacto para um volume muito reduzido de tráfego.

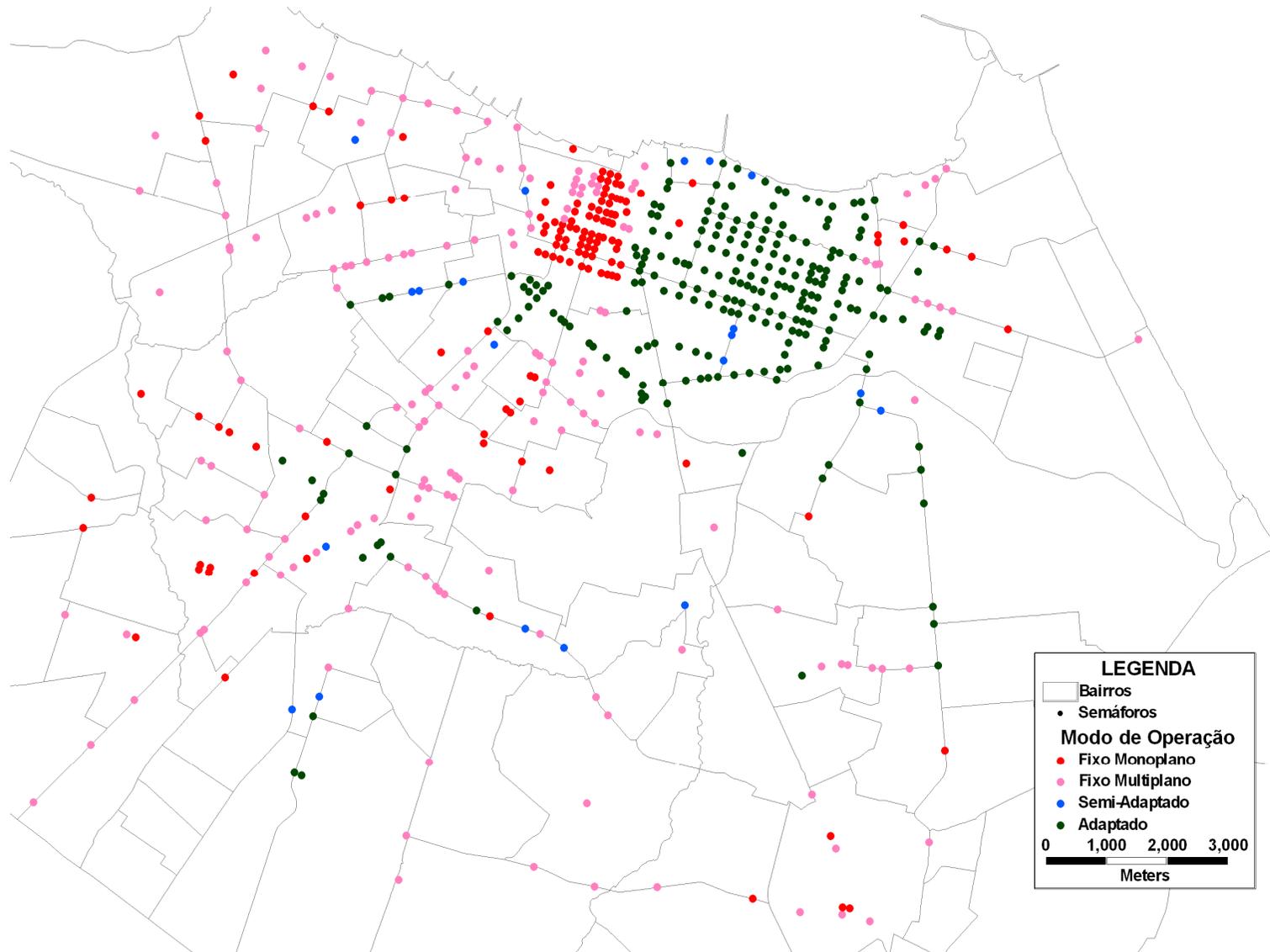


Figura 4.8: Localização dos semáforos de acordo com o modo de operação

Entretanto, nos grandes corredores de tráfego que atravessam a área do centro, é observado um grande fluxo de passagem, resultando na ocorrência de freqüentes congestionamentos, indicando a necessidade de priorizar a substituição deste tipo de equipamento.

Também existem muitos semáforos monoplanos na periferia da cidade, devido a serem caracterizados por volumes baixos e pouca variação de tráfego. Porém, assim como no Centro, uma programação multiplano possibilitaria ciclos menores nos períodos de menor fluxo.

Percebe-se que os semáforos multiplanos estão, em grande parte, em corredores de tráfego. Isto porque apresentam grande variação de volume durante o dia. Os semáforos que operam em tempo real são os mesmos citados anteriormente no modo de controle, pois, como mencionado anteriormente, em Fortaleza, todos os semáforos centralizados operam em tempo real.

4.3 ANÁLISE DO USO DO ÍNDICE DE INTERDEPENDÊNCIA PARA A REDE SEMAFÓRICA DE FORTALEZA

A Equação de interdependência proposta pelo DENATRAN (Equação 2.1) foi aplicada a 128 pares de semáforos da rede. O critério para a escolha desta amostra foi a observação de semáforos coordenados e isolados, sendo escolhidos pelos técnicos do CTAFOR os semáforos que apresentavam uma operação satisfatória.

Foram calculados os Índices de Interdependência entre os 128 pares de semáforos de Fortaleza, não sendo a todos, devido à falta de dados, uma vez que a fórmula exige muitos.

Os dados coletados em campo para a determinação do Índice de Interdependência foram: (i) tempo de percurso (t), em minutos, entre os dois semáforos, (ii) número de faixas de tráfego do trecho entre os dois semáforos (x), (iii) fluxo procedente do trecho anterior que segue em frente (q_{max}); e (iv) fluxo total que passa pelo semáforo estudado ($q_1 + q_2 + \dots + q_x$).

Após a aplicação, percebeu-se que caso fosse utilizado os valores do Índice proposto pelo DENATRAN na rede semafórica de Fortaleza, a porcentagem de semáforos coordenados atualmente cairia de 72,4% para apenas 29,3%, indicando que Fortaleza

prioriza a coordenação quando comparado com este método. Isto pode ter ocorrido devido a algum as especificidades, como a configuração da rede viária e o fato do índice proposto pelo DENATRAN ter sido obtido a mais de 25 anos sem uma verificação de sua adequação ao padrão atual do tráfego.

Foi calculada a média e desvio padrão dos Índices de Interdependência dos semáforos atualmente isolados e dos coordenados, como ilustrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Média e desvio padrão de uma amostra de semáforos de Fortaleza

Modo de Coordenação	Média	Desvio Padrão
Não Coordenados	0,26	0,11
Coordenados	0,30	0,13

Percebe-se que a média das duas amostras possui um valor muito próximo, sendo necessário assim um teste estatístico de modo a identificar se ambas pertencem à mesma população. Se isto for verdade, a média entre as amostras seria igual, o que é considerado como a hipótese nula para o teste, como mostrado na Equação 4.1.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 \rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (4.1)$$

Os dados foram tabulados no software Minitab, o qual fez um teste T entre as duas amostras, utilizando um intervalo de 95% de confiança. O resultado mostrou que a hipótese nula é verdadeira, o que indica que os valores do Índice de Interdependência obtidos para os semáforos não coordenados pertencem à mesma população dos semáforos coordenados, não podendo esta fórmula ser considerada um indicador consistente para a definição de coordenação ou não de grupos semaforicos.

4.4 MODELO MULTICRITÉRIO

Nesta seção, propõe-se um modelo multicritério para identificar semáforos críticos que necessitam ter sua tecnologia atualizada em Fortaleza.

4.4.1 Etapas de Aplicação da Metodologia MCDA

- Atores Envolvidos

Para a aplicação da metodologia MCDA a autora deste trabalho atuou como facilitadora, enquanto que os decisores corresponderam aos seguintes componentes: o chefe do CTAFOR/AMC, três gerentes e um técnico de trânsito do órgão municipal de gestão do trânsito, todos com experiência em Engenharia de Tráfego em Fortaleza.

- Fase de Estruturação

Foram realizadas diversas reuniões entre o facilitador e todos os decisores, sendo considerados pelo facilitador todos os aspectos relevantes levantados pelos decisores. O objetivo das reuniões foi iniciar o processo de estruturação de um modelo de avaliação para definir os critérios a serem considerados na avaliação dos semáforos. Este modelo foi baseado no conhecimento e experiência dos decisores.

- *Definição do Problema*

Espera-se obter como resultado do modelo de avaliação uma classificação da rede de semáforos, indicando uma ordem de prioridade para a implantação do modo de controle centralizado e operação tempo real, obtendo assim uma orientação para a tomada de decisão quanto aos investimentos a serem realizados na busca pela melhoria das condições do tráfego.

- *Identificação dos Pontos de Vista Fundamentais*

Através da realização de reuniões com intensa participação dos decisores envolvidos, foi aplicada a técnica de *brainstorming* para a identificação dos Elementos Primários de Avaliação, passo inicial para a determinação dos Pontos de Vista Fundamentais.

Foram identificados 06 (seis) Pontos de Vista Fundamentais e 02 (dois) Pontos de Vista Elementares.

- *Construção da Arborescência dos Pontos de Vista*

Pela identificação dos Pontos de Vista, pode-se chegar à estrutura de arborescência, conforme ilustrado na Figura 4.9.

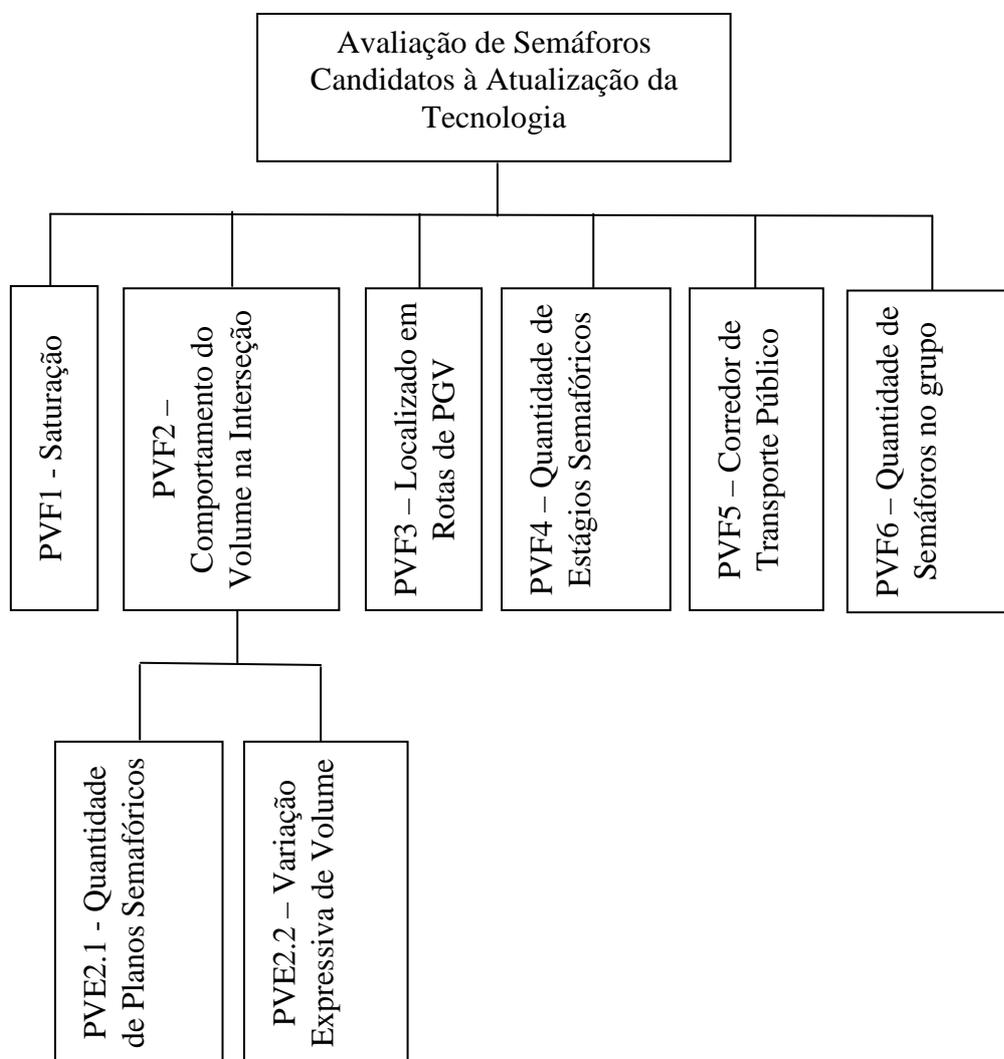


Figura 4.9: Arborescência dos pontos de vista do Modelo de Avaliação dos semáforos candidatos a atualização tecnológica

○ *Construção dos Descritores*

Após a identificação dos PVFs, foram definidos critérios para mensurar cada um dos aspectos considerados no modelo. Cada descritor foi elaborado como base em um conjunto de níveis de impacto, que por sua vez refletem os valores admitidos pelos decisores para a avaliação das ações. Além da definição dos níveis de impacto, foi escolhido o nível Neutro e Bom de cada descritor.

- Fase de Avaliação

- *Funções de Valor*

A função de valor gerada com a utilização do *software* MACBETH SCORES resultou na obtenção de um modelo de preferência local para cada um dos descritores. Os descritores utilizados na avaliação, assim como as funções de valor obtidas estão apresentados a seguir para cada Ponto de Vista do modelo de avaliação.

- a) Saturação (PVF1)

Semáforos saturados constituem um grande problema para os técnicos de trânsito, por causarem congestionamentos e atrasos nas aproximações do cruzamento. Os decisores definiram a saturação como um critério de análise, pois semáforos saturados que operam em tempo real possuem os tempos atualizados a cada ciclo de acordo com a demanda de cada aproximação, servindo como uma medida mitigadora dos congestionamentos.

Como visto no Capítulo 2, a CET (2006) afirma que o controle em tempo real possui maior eficácia nos semáforos integrantes de redes saturadas coordenadas. O critério utilizado na cidade de São Paulo para identificar esses semáforos foi o comprimento do ciclo vigente, ou seja, semáforos que possuem o ciclo igual ou superior a 110 segundos durante pelo menos 7 horas de um dia útil devem ter seu modo de operação em tempo real.

Esse critério foi considerado pelos decisores eficaz, pois uma medida muito utilizada em Fortaleza para diminuir o impacto de um semáforo saturado é o aumento de seu ciclo. Se esse valor permanece alto por um grande período de um dia útil, isso indica que o semáforo fica saturado em parte significativa do tempo de operação.

É importante lembrar que semáforos saturados não devem possuir uma programação monoplanar, pois isto exigiria ao semáforo um ciclo mais alto, gerando mais ociosidade nos períodos de menor fluxo, como é o caso da madrugada e/ou fins de semana.

Para identificar a saturação de semáforos em Fortaleza, foi aplicado o critério de São Paulo para os ciclos utilizados pela AMC/CTAFOR. Estes valores de ciclo correspondem aos tempos de 176, 160, 144, 128, 120, 112, 104, 96, 88, 80, 72, 64, 60 e

56 segundos. Entretanto, o intervalo horário utilizado foi de cinco horas, pois esse tempo, geralmente, representa a soma dos horários de maior pico de tráfego em Fortaleza, como melhor visualizado na Figura 4.10, onde os picos estão hachurados de azul.

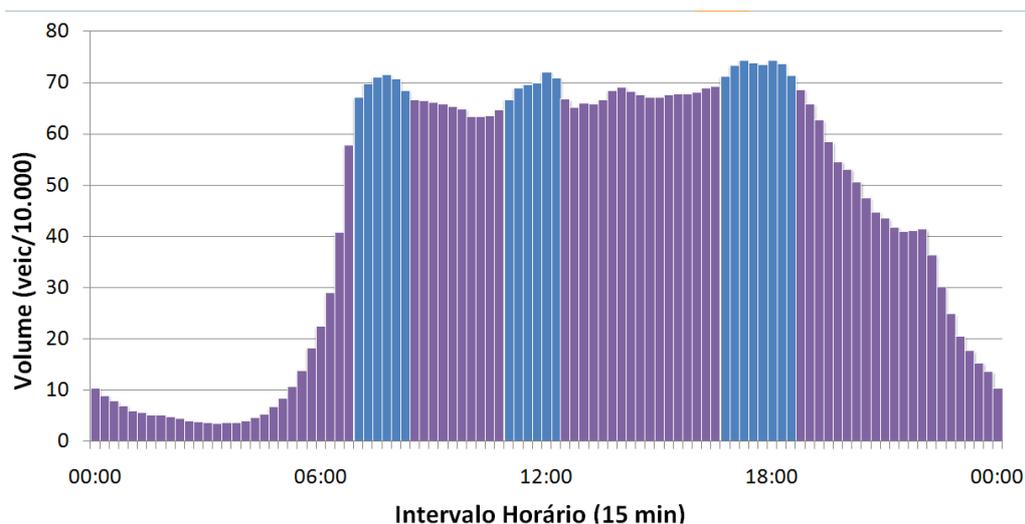


Figura 4.10: Média do volume dos dias úteis de Fortaleza, por intervalo de 15 minutos
Dados: ASTRID (2009)

Os critérios definidos pelos decisores encontram-se na Figura 4.11.

N1	—	Maior que 144 segundos
N2	—	Entre 128 e 144 segundos
N3	—	Entre 104 e 120 segundos
N4	—	Entre 80 e 96 segundos
N5	—	Menor ou igual a 72 segundos

Figura 4.11: Níveis de Impacto do PVF1 - Saturação

Este critério é quantitativo e, de acordo com o julgamento dos decisores, semáforos com ciclos maiores são mais saturados e tem prioridade diante os demais para terem uma tecnologia de melhor desempenho.

Por meio do julgamento dos decisores e com o auxílio do *software* MACBETH SCORES, desenvolvido por BANA E COSTA e VASNICK (1995), foram definidas as funções de valor para cada descritor. As referentes à saturação estão na Tabela 4.3 com as respectivas pontuações obtidas.

Tabela 4.3: PVF1 – Saturação – Maior ciclo, em segundos, nas 5 horas de um dia útil

Nível de Impacto	Detalhamento do descritor	Função de Valor
N ₁	Maior que 144 segundos	166,7
N ₂	Entre 128 e 144 segundos	133,3
N ₃ (Bom)	Entre 104 e 120 segundos	100
N ₄	Entre 80 e 96 segundos	55,6
N ₅ (Neutro)	Menor ou igual a 72 segundos	0

b) Comportamento do Volume na Interseção (PVF2)

Para explicar o impacto do comportamento do volume na interseção e conseqüentemente na operação do semáforo, foram estabelecidos dois Pontos de Vista Elementares. O primeiro deles, denominado PVE2.1 – Quantidade de Planos Semafóricos, procura mensurar a quantidade de vezes que o volume de tráfego nas aproximações apresenta variações que exijam uma mudança nos planos de operação. O segundo Ponto de Vista Elementar, denominado PVE2.2 – Variação Expressiva de Volume, procura mensurar a amplitude na variação dos volumes da interseção. Estes PVEs estão mais bem detalhados a seguir.

- Quantidade de Planos Necessários (PVE2.1)

Em Fortaleza, os semáforos multiplanos operam geralmente com oito planos pré-programados e determinados por tabela horária. Em alguns semáforos, se faz necessário repetir alguns destes planos ao longo do dia, devido a mudanças nas demandas do cruzamento, gerando programações complexas e mais propícias a desatualizações. Cada repetição de plano foi considerada como mais um plano programado, sendo este mais um critério a ser analisado para o modo de operação e controle dos semáforos de Fortaleza.

Sendo assim, para este critério, foi considerado o número de planos dos semáforos e suas respectivas repetições de planos. Para isso foram verificadas todas as planilhas de programações semafóricas catalogadas no CTAFOR/AMC para os semáforos de Fortaleza e feita a contagem de seus planos. Os níveis propostos pelos decisores para este descritor encontram-se na Figura 4.12.

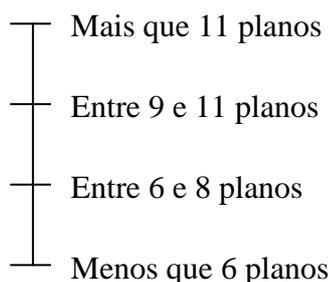


Figura 4.12: Níveis de Impacto do PVE2.1 – Quantidade de Planos Semafóricos

As pontuações de cada nível do descritor estão apresentadas na Tabela 4.4. Segundo os decisores, os semáforos com uma quantidade maior de planos têm maiores chances de terem a tecnologia atualizada.

Tabela 4.4: PVE2.1 – Quantidade de Planos Semafóricos

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Função de Valor
N ₁	Mais do que 11 planos	114,3
N ₂ (Bom)	Entre 9 e 11 planos	100
N ₃	Entre 6 e 8 planos	28,6
N ₄ (Neutro)	Menos que 6 planos	0

Para os semáforos monoplanos, não foi realizada a contagem, pois estes possuem apenas um plano, ficando classificados na última classe (menos que 6 planos semafóricos).

- Variação Expressiva de Volume (PVE2.2)

Em Fortaleza, são realizadas pesquisas volumétricas de veículos para definir o melhor ciclo de um semáforo, estando o volume diretamente ligado ao valor de ciclo. Sendo assim, para definir a variação expressiva de volume de Fortaleza, os descritores optaram por utilizar outro critério de São Paulo, este é obtido pela diferença de tempos entre o maior e o menor ciclo de um semáforo. Este critério pode então levar à identificação dos semáforos com variação de volume significativa, sendo os mesmo indicados para operarem centralizados em tempo real.

Sendo assim, foi levantada a diferença entre o maior e menor ciclo de todos os semáforos estudados, sendo esta a variável (segundos) utilizada no descritor.

Os decisores definiram cinco níveis para este PVE, os mesmos encontram-se na Figura 4.13.

N1		Maior que 60 segundos
N2		Entre 40 e 59 segundos
N3		Entre 30 e 39 segundos
N4		Entre 10 e 29 segundos
N5		Menor que 10 segundos

Figura 4.13: Níveis de Impacto do PVE2.2 – Variação expressiva de volume

Os valores da função de valor para este descritor encontram-se na Tabela 4.5, onde os semáforos que apresentam as maiores diferenças nos tempos dos ciclos extremos do plano semaforico pontuaram como mais propícios a terem a tecnologia modificada para centralizada em tempo real.

Tabela 4.5: PVE2.2 – Variação expressiva de volume

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Função de Valor
N ₁	Maior do que 70 segundos	120
N ₂ (Bom)	Entre 50 e 69 segundos	100
N ₃	Entre 30 e 49 segundos	73,3
N ₄	Entre 10 e 29 segundos	20
N ₅ (Neutro)	Menor que 10 segundos	0

c) Localizado em Rotas de PGV's (PVF3)

Este critério foi definido pelos decisores devido aos semáforos próximos a Pólos Geradores de Viagens, ou em rotas direcionadas aos mesmos, sofrerem o impacto da presença do fluxo de deslocamentos com origem e destino nestes equipamentos.

Outro fator levantado pelos decisores foi o desperdício de tempo e recursos em idas ao semáforo para executar operações especiais quando existe algum evento no PGV, enquanto que, em semáforos centralizados em tempo real, as alterações podem ser realizadas direto de uma central e otimizadas pelo sistema.

Para a pontuação neste critério, devem ser considerados apenas os PGV's cuja demanda de veículos por ele gerado não tenha sido incorporado na definição dos planos dos semáforos da área de influência.

Os decisores propuseram a utilização de um descritor com cinco níveis, considerando nestes a frequência em que ocorrem eventos neste PGV, onde semáforos que recebem interferências no padrão de tráfego com maior frequência serão priorizados no modelo para recebem controladores em tempo real. Assim é possível permitir o ajustamento da programação semafórica em função das variações de volume encontradas em campo. Os níveis de impacto do descritor podem ser visualizados na Figura 4.14.

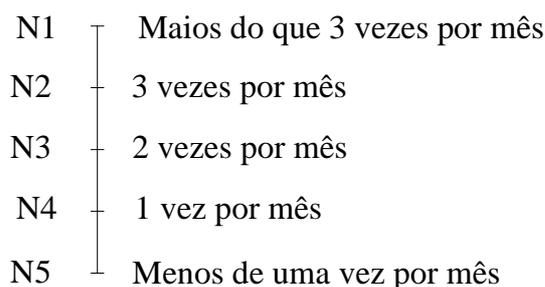


Figura 4.14: Níveis de Impacto do PVF3 - Frequência dos PGV's

Os valores obtidos da função de valor para cada nível do descritor estão mostrados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: PVF3 – Localizado em rotas de PGV

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Função de Valor
N ₁	Mais do que 3 vezes por mês	150
N ₂ (Bom)	3 vezes por mês	100
N ₃	2 vezes por mês	70
N ₄	1 vez por mês	40
N ₅ (Neutro)	Menos do que uma vez por mês	0

d) Quantidade de Estágios Semafóricos (PVF4)

Este critério foi levantado, pois o número de estágios de um semáforo pode prejudicar bastante seu desempenho, devido à falta de repartições adequadas dos tempos semafóricos ao longo do dia. Já os semáforos centralizados em tempo real realizam constantemente a atualização dos tempos semafóricos através da contagem volumétrica detectada pelos laços implantados no pavimento, resultando em um melhor desempenho. Portanto, foi identificado pelos decisores que este critério é um aspecto que deve ser considerado no modelo proposto. Para isto, foi observada cada interseção semaforizada de Fortaleza e listado o número de estágios.

Como visto no Capítulo 2, o estágio demandado, tanto veicular quanto de pedestre, quando acionado muito frequentemente no dia, acaba por representar um estágio fixo. Tomou-se então como critério para a contagem dos estágios de cada

semáforo, que os estágios demandados só seriam computados caso seu acionamento ocorresse com elevada frequência. Para esta análise foram consultados os decisores e outros técnicos do CTAFOR, além de serem realizadas observações em campo.

Os níveis de impacto definidos pelos decisores estão apresentados na Figura 4.15, onde semáforos com uma maior quantidade de estágios estão mais propícios a serem centralizados em tempo real.

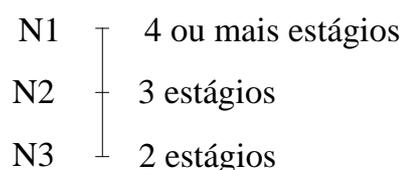


Figura 4.15: Níveis de Impacto do PVF4 - Estágios Semafóricos

Na Tabela 4.7 estão as funções de valor para cada descritor deste PVF.

Tabela 4.7: PVF4 – Quantidade de estágios semafóricos

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Função de Valor
N ₁	4 ou mais estágios	180
N ₂ (Bom)	3 estágios	100
N ₃ (Neutro)	2 estágios	0

e) Localizado em Corredor de Transporte Público (PVF5)

Como observado na revisão bibliográfica, várias experiências de substituição da tecnologia de semáforos em tempo real resultaram na obtenção de redução nos valores de atraso e, por conseguinte na elevação das velocidades médias e diminuição dos tempos de viagem.

OLIVEIRA NETO (2004) avaliou o desempenho de diversos modos de priorização de transporte coletivo por meio de uma comparação entre sete cenários. O resultado foi que, das alternativas de controle semafórico avaliadas, o controle em tempo real com progressão para o tráfego geral foi o mais adequado, nos períodos de alta e média demanda.

Sendo assim, com o objetivo de permitir que essa vantagem tecnológica possa ser aproveitada para a melhoria da qualidade do transporte coletivo, foi proposto pelo grupo de decisores que aqueles semáforos localizados em corredores de tráfego que atendem a este modo de transporte. Para a análise foi considerado como um corredor de Transporte Público, uma via, exclusiva ou não, que recebe grande demanda de coletivos. Sendo assim, foi levantado o número de linhas de ônibus que passam por cada semáforo.

Os decisores definiram cinco descritores de acordo com a quantidade de linhas de ônibus, estes estão na Figura 4.16.

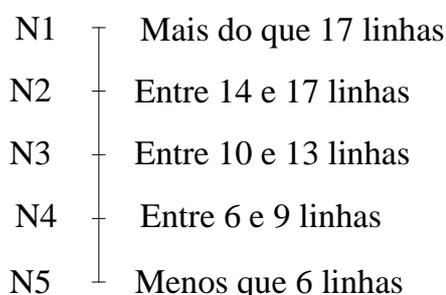


Figura 4.16: Níveis de Impacto do PVF5 – Corredor de Transporte Público

Os resultados da função de valor obtidos para este descritor encontram-se na Tabela 4.8, onde quanto maior o número de linhas, mais indicado o semáforo estará para ser centralizado em tempo real.

Tabela 4.8: PVF5 – Localizado em corredor de transporte público

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Função de Valor
N ₁	Mais do que 17 linhas	125
N ₂ (Bom)	Entre 14 e 17 linhas	100
N ₃	Entre 10 e 13 linhas	75,1
N ₄	Entre 6 e 9 linhas	37,5
N ₅ (Neutro)	Menos que 6 linhas	0

f) Quantidade de Semáforos Agrupados (PVF6)

Em grupos de coordenação semafórica compostos por muitos semáforos torna-se mais difícil gerenciá-los devido os seguintes fatores: diversas mudanças nas condições de tráfego, inúmeros cálculos para as programações, necessidade de implantar uma infraestrutura extensa de cabos para manter a coordenação e verificação freqüente do relógio do controlador.

No modo de operação tempo real é possível uma maior agilidade e flexibilidade na operação destes grupos, pois estes não necessitam de verificação de relógios, nem de implantação de cabos para a coordenação. Portanto, os grupos semafóricos compostos hoje na cidade de Fortaleza, que apresentam uma grande quantidade de semáforos foram considerados na análise como áreas importantes para operarem em tempo real, sendo levantado o número de semáforos existentes em cada agrupamento.

Os níveis do descritor definidos pelos decisores para este PVF encontram-se na Figura 4.17.

N1		Mais do que 14 semáforos em seu grupo
N2		Entre 12 e 14 semáforos em seu grupo
N3		Entre 9 e 11 semáforos em seu grupo
N4		Entre 6 e 8 semáforos em seu grupo
N5		Entre 3 e 5 semáforos em seu grupo
N6		2 ou menos semáforos em seu grupo

Figura 4.17: Níveis de Impacto do PVF6 - Quantidade de semáforos no grupo

A Tabela 4.9 contém as pontuações obtidas da função de valor proposta para o descritor, onde semáforos pertencentes a grupos maiores são priorizados para receberem a tecnologia de tempo real.

Tabela 4.9: PVF6 – Quantidade de semáforos em seu grupo

Nível de Impacto	Detalhamento do Descritor	Função de Valor
N ₁	Mais do que 14 semáforos em seu grupo	166,7
N ₂	De 12 a 14 semáforos em seu grupo	133,3
N ₃ (Bom)	De 9 a 11 semáforos em seu grupo	100
N ₄	De 6 a 8 semáforos em seu grupo	66,7
N ₅	De 3 a 5 semáforos em seu grupo	33,3
N ₆ (Neutro)	2 ou menos semáforos em seu grupo	0

o *Taxas de Substituição*

Após a definição das funções de valor para cada PVF, foram obtidas as taxas de substituição, ou seja, os pesos atribuídos a cada critério de avaliação, com a utilização do software MACBETH WEIGHT (BANA e COSTA, 1995a). Desta forma, foi possível transformar as avaliações locais de cada critério, em um modelo de preferência global, a partir de uma Fórmula de Agregação Aditiva como mostra a Equação 4.2.

$$V = (0,20 \cdot PVF1) + (0,33 \cdot (0,17 \cdot PVE2.1) + (0,16 \cdot PVE2.2)) + (0,14 \cdot PVF3) + (0,13 \cdot PVF4) + (0,11 \cdot PVF5) + (0,10 \cdot PVF6) \quad (4.2)$$

Onde:

V : Avaliação global do semáforo candidato a ser centralizado em tempo real;

PVF_n : Avaliação local do semáforo candidato a ser centralizado em tempo real, quanto ao ponto de vista fundamental n ;

$PVE_{n.x}$: Avaliação local do semáforo candidato a ser centralizado em tempo real, quanto ao ponto de vista elementar $n.x$;

O gráfico da Figura 4.18 apresenta a ponderação obtida de acordo com o julgamento dos decisores para cada ponto de vista fundamental do modelo. Dentre os parâmetros de avaliação considerados, a “Saturação”, representada pelo PVF 2 foi o

aspecto considerado mais importante pelos decisores, contribuindo com 33% da pontuação do modelo. O PVF 6 foi considerado menos importante quando comparado aos demais, representando 10% da pontuação.

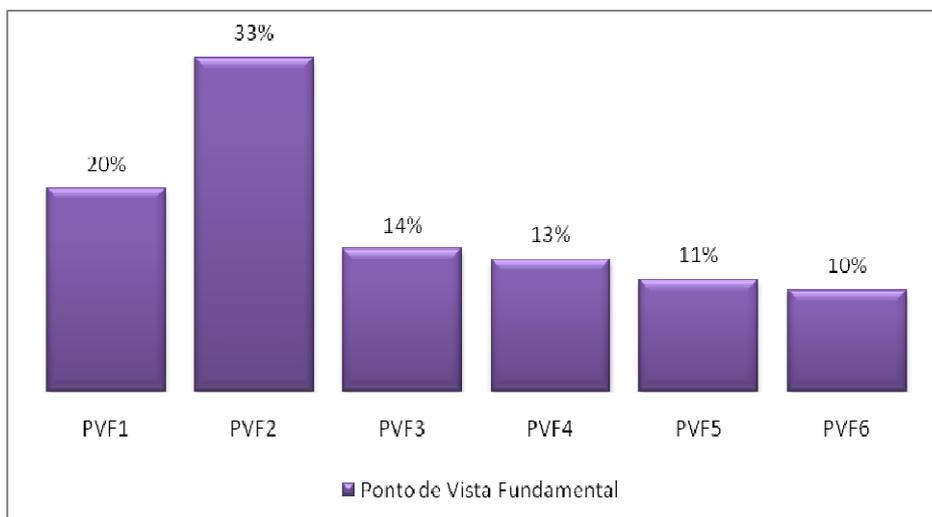


Figura 4.18: Peso dos Pontos de Vista Fundamental

Fonte: Dados da Pesquisa

4.5 CONCLUSÃO

A rede semafórica de Fortaleza é formada, em grande parte, por semáforos implantados para beneficiar diretamente os veículos, embora também beneficiem os pedestres e ciclistas pela geração de brechas.

Quanto à coordenação semafórica, percebe-se que a rede possui a grande maioria dos semáforos coordenados, operando isoladamente apenas aqueles que se encontram muito distantes de outros semáforos, ou mesmo aqueles que possuem características muito diferentes de semáforos próximos.

Quase metade da rede é centralizada, e opera no modo adaptativo. Os não centralizados operam com tempos fixos, podendo ser multiplanos ou monoplanos. Estes últimos são muito limitados, sendo recomendada para um melhor desempenho da rede sua atualização para controladores multiplanos, ou até mesmo tempo real.

A definição da troca de tecnologia semafórica teve que analisar muitos critérios ao mesmo tempo, sendo utilizada uma abordagem multicritério. Os decisores identificaram por seis critérios que resultaram numa lista de hierarquização, que será apresentada no Capítulo 5, como parte da análise dos resultados obtidos na aplicação do modelo proposto.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS OBTIDOS

Este Capítulo tem o objetivo de ilustrar o modelo proposto no Capítulo 3, por meio de sua aplicação na cidade de Fortaleza. São apresentados inicialmente os resultados da avaliação local para cada Ponto de Vista Fundamental do modelo, sendo mostrada a posição espacial destes semáforos na rede de Fortaleza. Em seguida, é apresentada a pontuação obtida por meio do modelo global de avaliação, onde é mostrada a ordem de classificação dos semáforos que devem ser priorizados na substituição dos controladores atuais para a tecnologia centralizada em tempo real.

5.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO LOCAL

Para a avaliação local dos semáforos, foram levantados todos os dados necessários para aplicar a função de valor para cada critério, cujos resultados são apresentados a seguir.

5.1.1 Saturação

O maior número de semáforos (40,2%) encontra-se no Nível 4 (ciclos entre 80 e 96 segundos durante pelo menos 5 horas de um dia útil). O Nível 1, o qual representa a situação em que os semáforos estão mais aptos a trocarem a tecnologia possui a menor porcentagem (1,9%). A porcentagem de cada nível encontra-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF1

Nível de Impacto	Pontuação	Frequência
≥144	166,7	1,9%
Entre 128 e 144	133,3	2,7%
Entre 104 e 120	100,0	35,1%
Entre 80 e 96	55,6	40,2%
≤72	0,0	20,1%

Este PVF teve 12 (doze) semáforos com pontuação acima do Nível Bom definido pelos decisores (ciclos acima de 120 segundos durante pelo menos cinco horas de um dia útil), estes estão, em grande parte, localizados no mesmo corredor, como é o caso da Avenida Bezerra de Menezes, a qual tem 05 (cinco) semáforos e a Avenida Borges de Melo com 03 (três) semáforos. Existem 91 (Noventa e um) semáforos no Nível Bom, o que comprova que a utilização isolada deste critério não seria capaz de estabelecer uma ordem de prioridade para boa parte dos semáforos da rede.

Existem alguns semáforos com ciclos menores ou iguais a 72 segundos (Nível Neutro) no Centro, sendo a maioria deles localizada na periferia da cidade, em locais de baixa saturação de tráfego. A Figura 5.1 mostra mapa elaborado no *software* TransCAD *for Windows* (Caliper, 1996), com localização dos semáforos de Fortaleza classificados quanto ao critério Saturação.

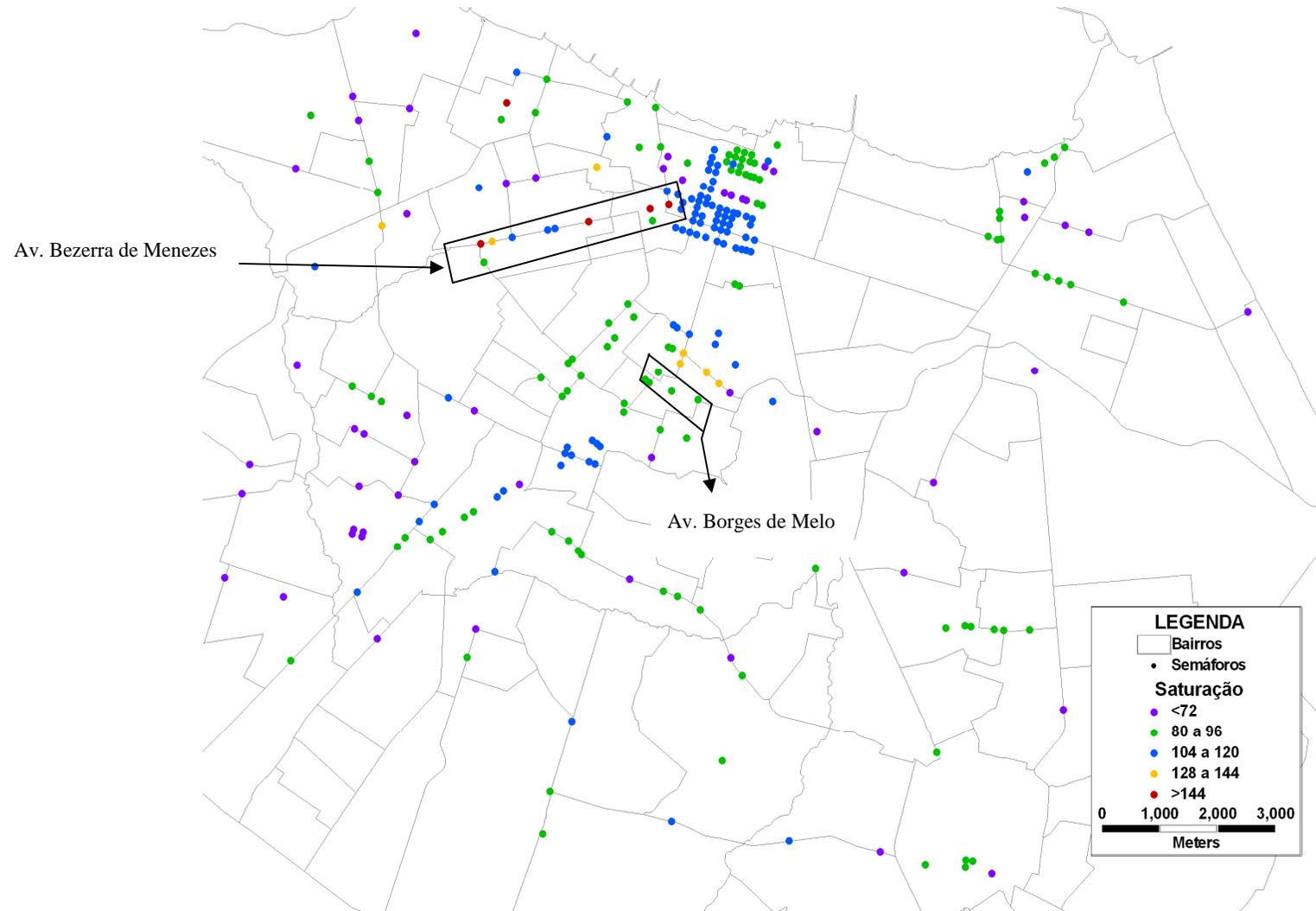


Figura 5.1: Localização dos semáforos analisados, quanto ao PVF1

5.1.2 Comportamento do Volume na Interseção (PVF2)

- Quantidade de Planos Necessários (PVE2.1)

Para este PVE, a maior parte dos semáforos (59,7%) ficou no Nível Neutro, enquanto que a minoria (0,4%) ficou no nível acima do bom, como mostra a Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF2.1

Níveis de Impacto	Pontuação	Frequência
≥12	114,3	0,4%
9 a 11	100,0	11,2%
6 a 8	28,6	28,7%
<6	0,0	59,7%

O único semáforo que ficou acima do Nível Bom deste PVE foi o de número 056, localizado no cruzamento das Avenidas Theberge e Francisco Sá. Este semáforo também ficou acima do Nível Bom no critério anterior. Existem 08 (oito) semáforos no Nível Bom deste PVE, sendo um isolado (semáforo 176, localizado na Avenida Santos Dumont X Av. Dioguinho), e o restante pertence a grupos de coordenação.

Já o Nível Neutro (menos que 6 planos) possui 153 semáforos. Muitos destes correspondem aos monoplanos (1 plano semaforico). Estes, assim como no critério anterior, estão localizados, em grande parte no Centro e na periferia da cidade.

A Figura 5.2 mostra a localização dos semáforos analisados, de acordo com este critério.

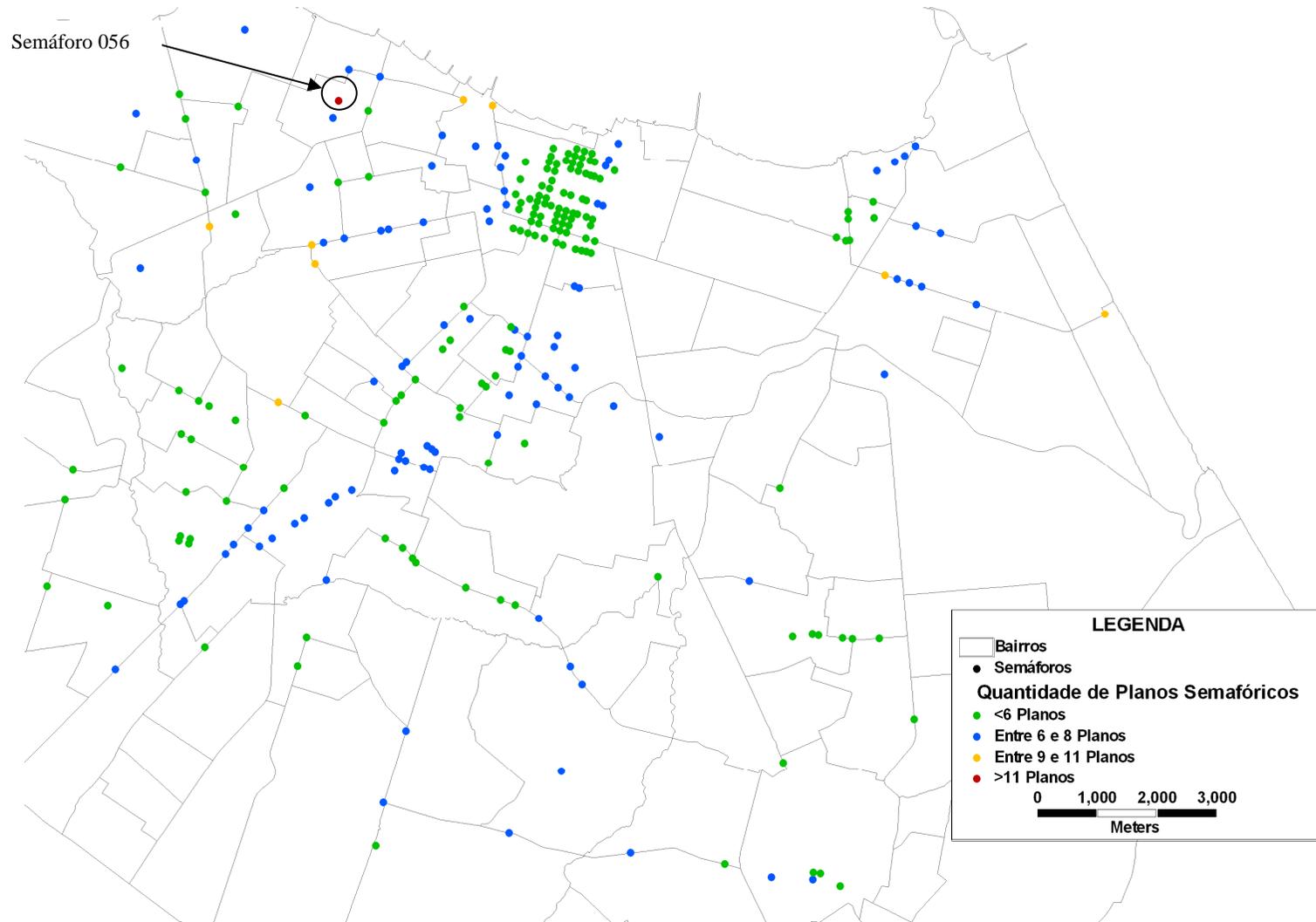


Figura 5.2: Localização dos semáforos analisados quanto ao PVE2.1

- Variação Expressiva de Volume (PVE2.2)

Este PVE, assim como o anterior, possui a maioria dos semáforos em seu Nível Neutro (43,2%) e a minoria acima do Nível Bom (5,4%), como se pode perceber na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF2.2

Nível de Impacto	Pontuação	Frequência
>70	120,0	5,4%
50 a 69	100,0	12,7%
30 a 49	73,3	21,6%
10 a 29	20,0	17,0%
<10	0,0	43,2%

Existem 14 (quatorze) semáforos acima do Nível considerado Bom pelos decisores (variação entre o maior e menor ciclo maior que 70 segundos). Alguns destes são isolados, como é o caso do semáforo 056, localizado na Avenida Doutor Theberge com a Avenida Francisco Sá, que apresentou uma diferença de ciclo de 96 segundos. Outros estão nos corredores das Avenidas Borges de Melo, Bezerra de Menezes e Sargento Hermínio Sampaio.

O semáforo que apresentou a maior variação de ciclos encontra-se no cruzamento da Avenida Expedicionários com a Rua Pré-Nove, com uma diferença de 108 segundos. Isso ocorreu porque este semáforo apresenta ciclo duplo em alguns períodos do dia.

Já os semáforos localizados no Nível Bom deste PVE, somaram 08 (oito), estando localizados em corredores como a Avenida Sargento Hermínio Sampaio, Avenida Bezerra de Menezes e Avenida Borges de Melo. Percebe-se que estas duas últimas Avenidas vêm se destacando nestes primeiros critérios, tendo os seus semáforos com pontuação no Nível Bom, ou acima deste.

Dentre os semáforos que pontuaram no nível Neutro, estão todos os semáforos monoplanos, pelo fato de possuírem ciclo único, assim como dois semáforos multiplanos, pois apresentam ciclos com variação menor ou igual a 10 segundos.

A avaliação proposta para este critério resultou em uma pontuação mais baixa para os semáforos monoplanos, exatamente a tecnologia mais obsoleta dos controladores existentes, o que aparentemente pode parecer uma inconsistência (contra censo). Entretanto, vale ressaltar que a gestão do controle semafórico em Fortaleza, desde a implantação dos primeiros controladores tempo real, tem promovido a substituição de controladores tempo fixo monoplano, por controladores tempo fixo multiplano nos lugares onde o controlador monoplano resulta em um desempenho insatisfatório. O órgão efetua constante acompanhamento em campo da operação de semáforos monoplanos, dos comprimentos de fila e atrasos verificados ao longo dos dias, nestes cruzamentos, de forma que os controladores monoplano ainda existentes na rede estão instalados em cruzamentos onde não existe uma demanda por mais planos de operação.

O mapa temático com a localização dos semáforos de acordo com os descritores deste PVE se encontra na Figura 5.3.

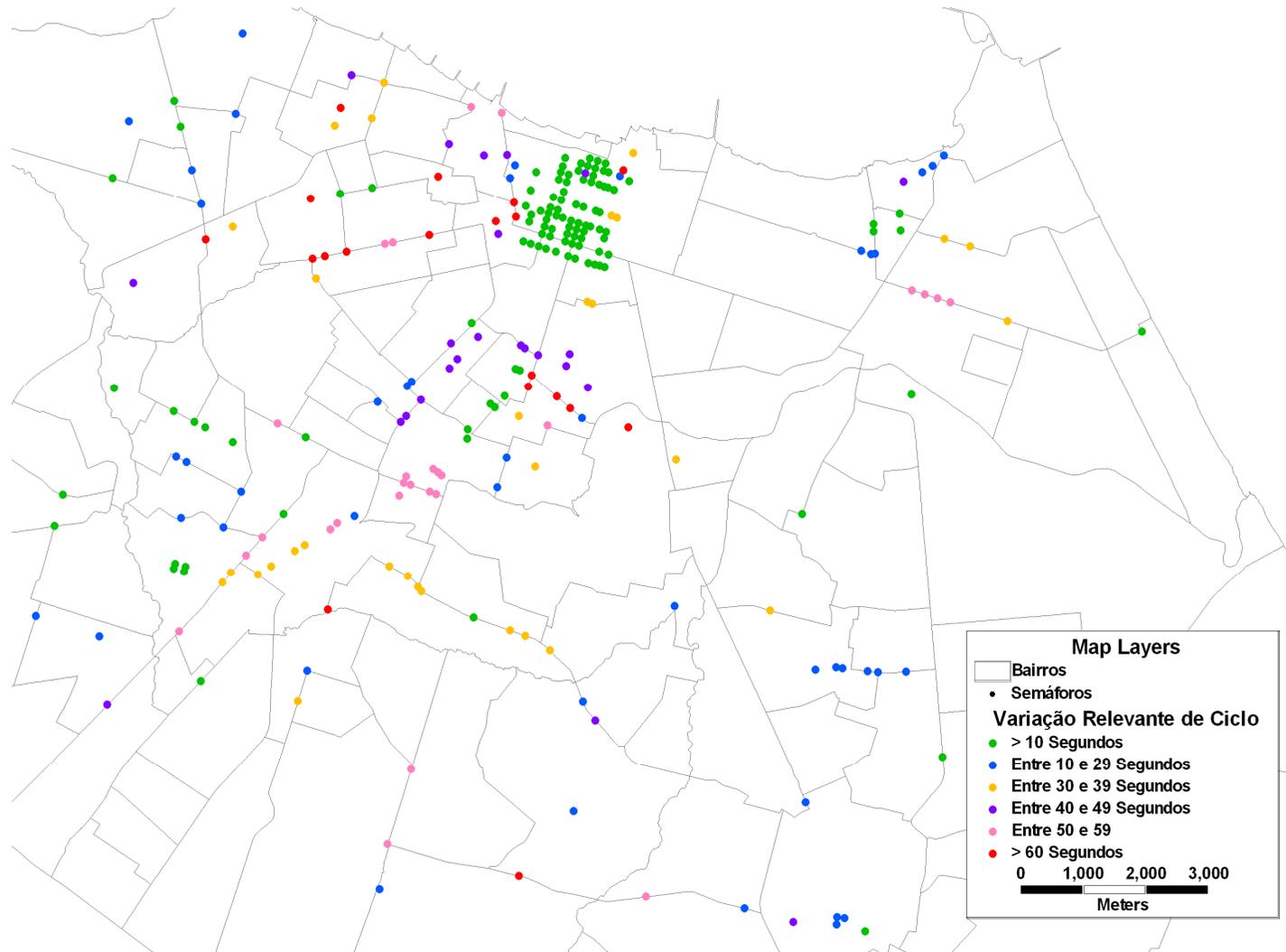


Figura 5.3: Localização dos semáforos analisados, classificados quanto ao PVE2.2

5.1.3 Localizado em Rota de PGV (PVF3)

A maior parte da rede de semáforos (61,4%) está localizada no Nível 4 deste PVF, enquanto apenas 0,4% estão acima do Nível Bom. Este baixo número de semáforos com uma alta frequência de viagens em decorrência da existência de PGV's se deve ao fato do descritor ter sido construído apenas considerando os PGV's cuja geração de viagens não tenha sido incorporada à programação do semáforo. Tratam-se essencialmente de PGV's que funcionam em eventos com datas e horários específicos, exigindo muitas vezes o deslocamento de agentes em campo para apoio na operação de tráfego, como estádios esportivos e casas de espetáculos. As porcentagens de cada nível deste PVF para rede de semáforos de Fortaleza encontram-se na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF3

Nível de Impacto	Pontuação	Frequência
2 ou mais vezes por semana	150,0	0,4%
Semanal	100,0	13,1%
Quinzenal	70,0	4,6%
Mensal	40,0	61,4%
Semestral ou anual	0,0	20,5%

Os semáforos da Avenida Dedé Brasil estão no Nível Bom deste PVF. Isto ocorre devido a este corredor ser uma das principais vias de acesso ao Estádio Castelão. Este promove sempre eventos esportivos, de forma que o tráfego local é muito afetado. Percebe-se que os semáforos do Nível Neutro (menos de um evento por mês) são encontrados, na maioria dos casos, na periferia da cidade.

A Figura 5.4 demonstra a localização dos semáforos pontuados considerando o PVF 3.

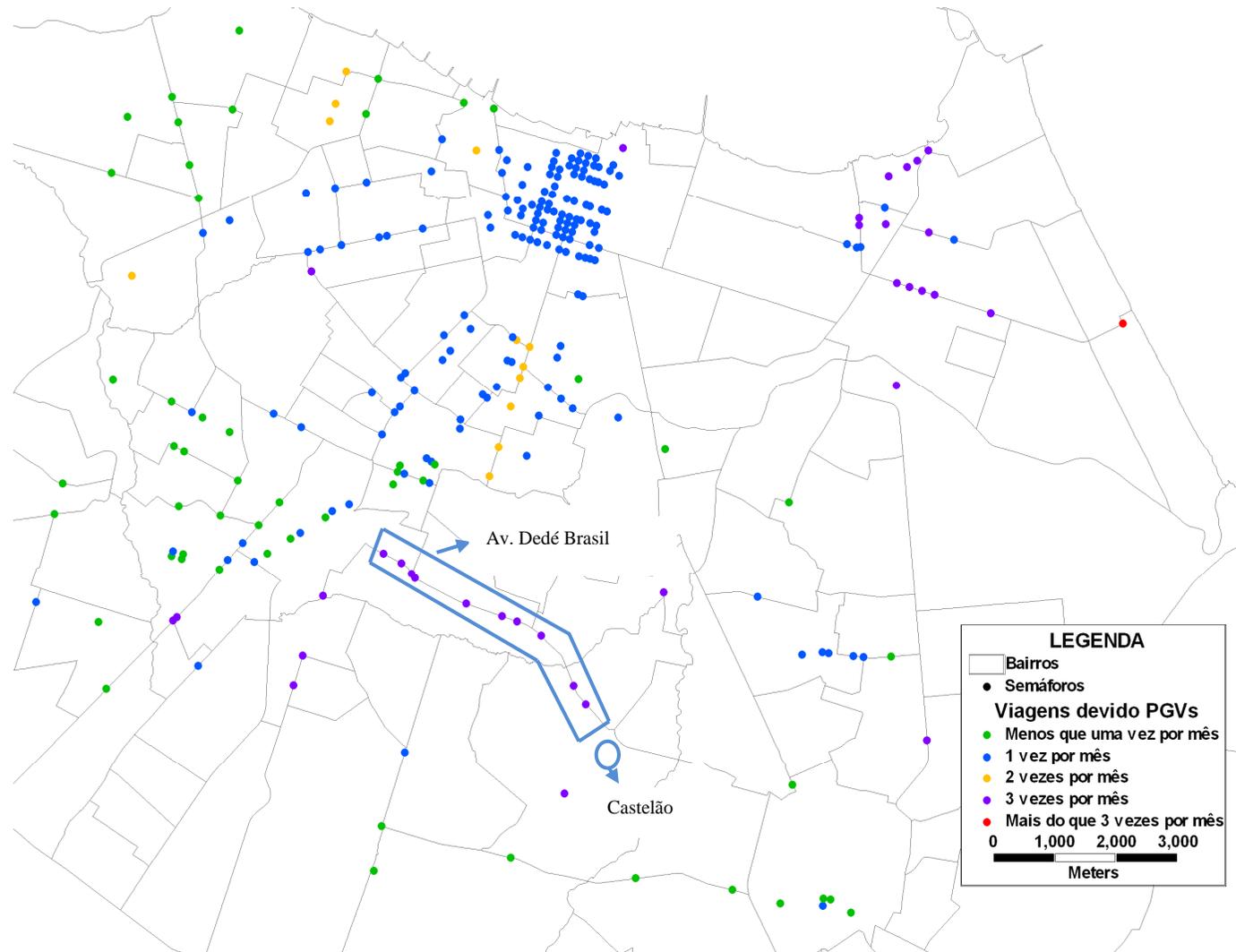


Figura 5.4: Localização dos semáforos pontuados para o PVF3

5.1.4 Quantidade de Estágios Semafóricos (PVF4)

Existem 38 semáforos no Nível Bom (3 estágios semafóricos) e a maior parte dos semáforos, cerca de 85%, possuem 2 estágios semafóricos, ficando no Nível Neutro deste PVF. O CTAFOR tem procurado implementar alterações na circulação do tráfego visando à eliminação da utilização de 3 estágios nos semáforos, como forma de melhoria da fluidez em corredores de elevado volume de tráfego. Entretanto, em decorrência da existência de restrições geométricas impossibilitando, por exemplo, a realização de laços de quadra em alguns cruzamentos, permanece sendo necessária a permissão de conversões à esquerda em algumas interseções e, por conseguinte, a manutenção de 3 estágios em algumas situações críticas. Com o auxílio da utilização deste PVF, é possível identificar interseções onde a utilização de equipamentos que permitam uma partição mais adequada dos tempos semafóricos possibilite reduzir os níveis de atraso. As porcentagens de cada descritor encontram-se na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF4

Nível de Impacto	Pontuação	Frequência
4	180,0	0,8%
3	100,0	14,7%
2	0,0	84,6%

Dois semáforos da rede de Fortaleza possuem 4 estágios semafóricos, ficando assim acima do Nível Bom deste PVF. Estes são o 091 (Bezerra de Menezes x Padre Anchieta) e o 151 (Demétrio de Menezes x Sargento Hermínio Sampaio).

O mapa temático com a localização dos semáforos quanto às escalas acima se encontra na Figura 5.5.

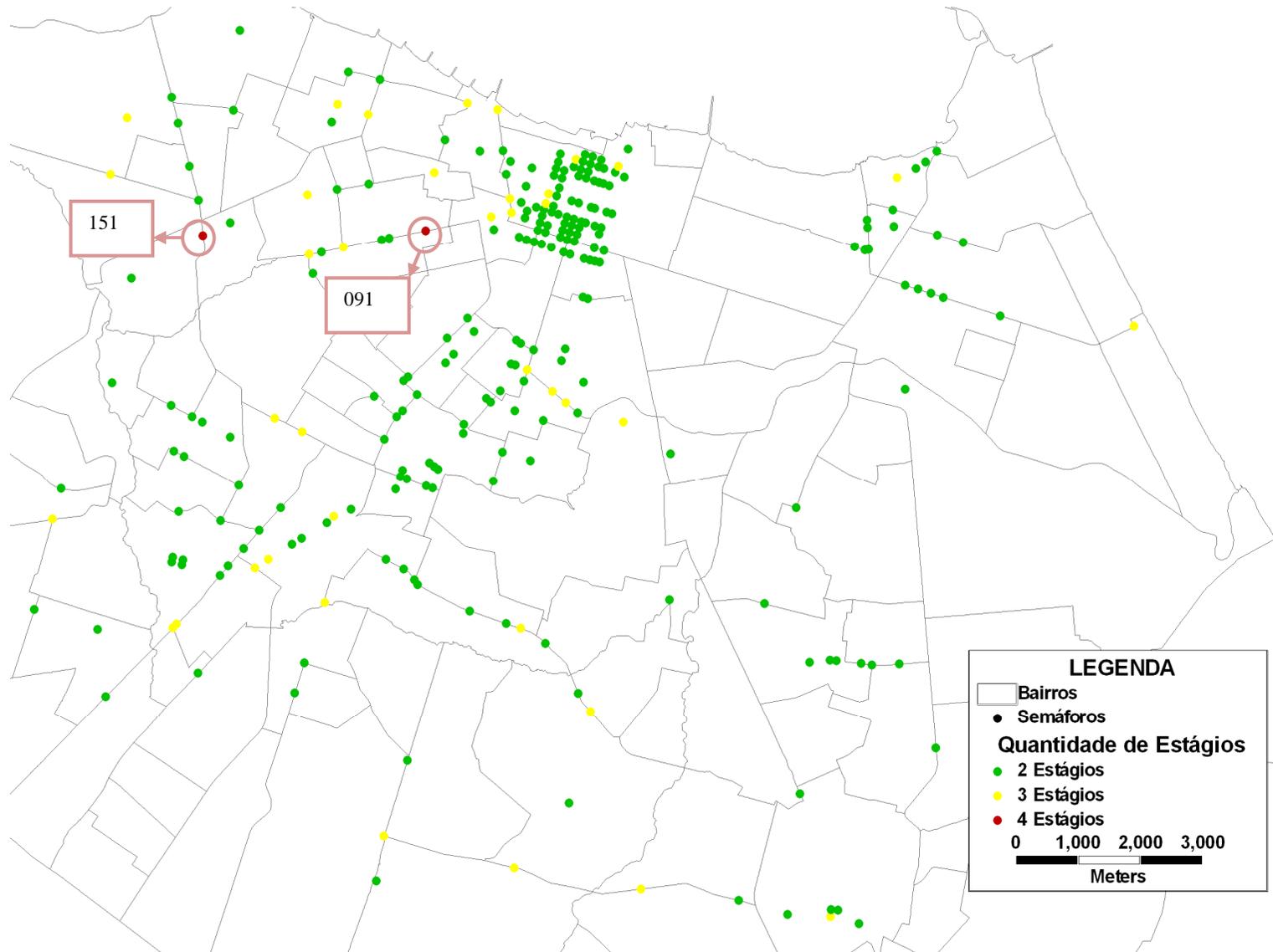


Figura 5.5: Localização dos semáforos pontuados para o PVF4

5.1.5 Localizado em Corredor de Transporte Público (PVF5)

Cerca de 40% dos semáforos encontra-se acima do Nível Bom definido pelos decisores. Os níveis de impacto restantes obtiveram porcentagens parecidas, como se pode ver na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF5

Nível de Impacto	Pontuação	Frequência
>20	125,0	 39,7%
15 a 20	100,0	 12,8%
10 a 14	75,1	 13,2%
6 a 9	37,5	 19,8%
<6	0,0	 14,4%

Na Figura 5.6 encontra-se a localização dos semáforos que não são centralizados e que não operam em tempo real, classificados quanto ao número de linhas de ônibus, onde se pode perceber que grande parte se encontra em corredores, como a Avenida Abolição e Avenida João Pessoa, sendo esta última provida de uma faixa exclusiva para ônibus.

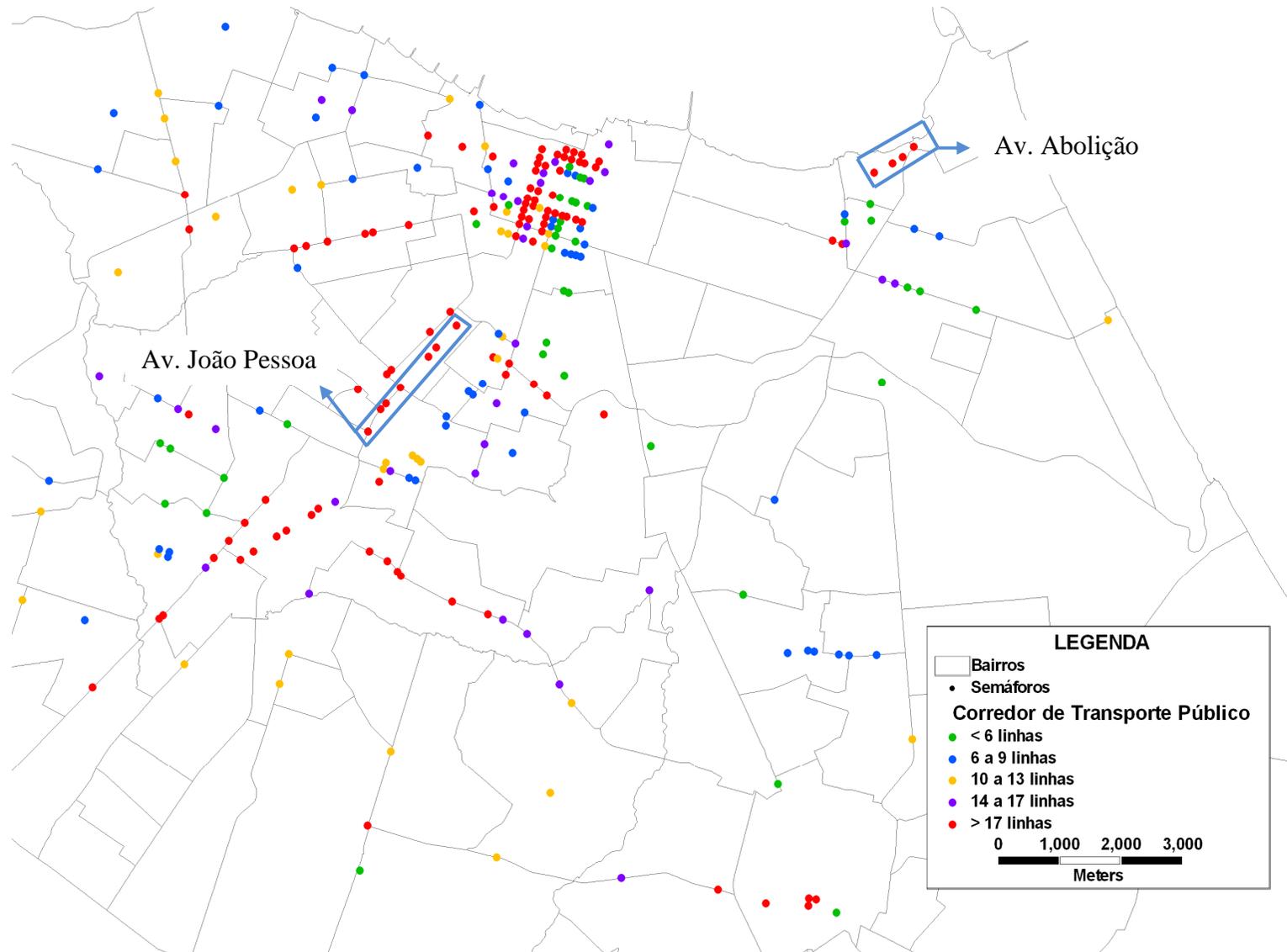


Figura 5.6: Localização dos semáforos analisados, classificados quanto ao PVF5

5.1.6 Quantidade de Semáforos em seu Grupo (PVF6)

Os semáforos da área do Centro obtiveram uma pontuação elevada para este PVF, isto devido ao maior agrupamento semafórico da cidade estar localizado neste Bairro. Este grupo é composto de 53 semáforos que ficaram situados dois níveis acima do nível Bom, como pode ser observados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Porcentagem de semáforos de cada descritor do PVF6

Nível de Impacto	Pontuação	Frequência
>14	166,67	26,3%
12 a 14	133,3	0,4%
9 a 11	100,0	0,4%
6 a 8	66,7	7,3%
3 a 5	33,3	21,6%
≤2	0,0	44,0%

Existem 69 semáforos acima do Nível Bom (mais de 11 semáforos em um grupo semafórico) deste PVF, enquanto somente um se enquadrou no Nível Bom (de 8 a 10 semáforos em um grupo). O Nível Neutro (2 ou menos semáforos em um grupo) possui 114 semáforos, sendo que destes 81 são isolados.

A Figura 5.7 mostra a localização dos semáforos que não são centralizados em tempo real, quanto ao número de semáforos existentes em seu grupo.

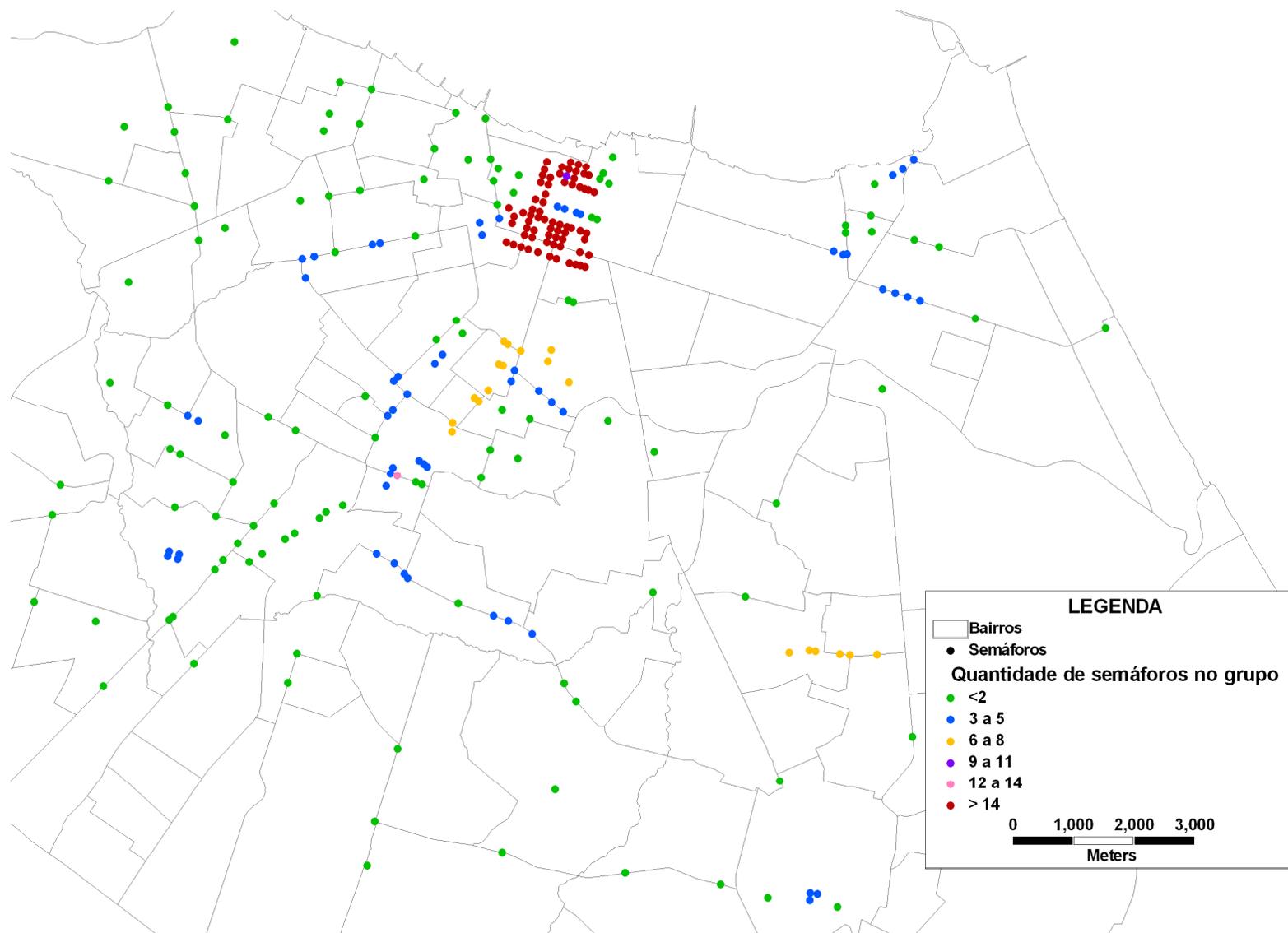


Figura 5.7: Localização dos semáforos analisados, quanto ao PVF6

5.2 RESULTADO DA AVALIAÇÃO GLOBAL

Com a utilização da fórmula de avaliação global (Equação 4.2), onde todos os aspectos considerados importantes pelos decisores foram agregados, foi possível obter uma classificação final dos semáforos, de forma a promover um ordenamento por prioridade para a atualização dos semáforos da rede. A lista completa de classificação dos semáforos avaliados pode ser observada no Anexo III deste trabalho. A pontuação de todos os semáforos foi positiva, uma vez que para todos os descritores construídos, foi definido o nível de impacto mais baixo do descritor como o nível neutro (pontuação zero). A Figura 5.8 mostra o histograma da pontuação dos semáforos.

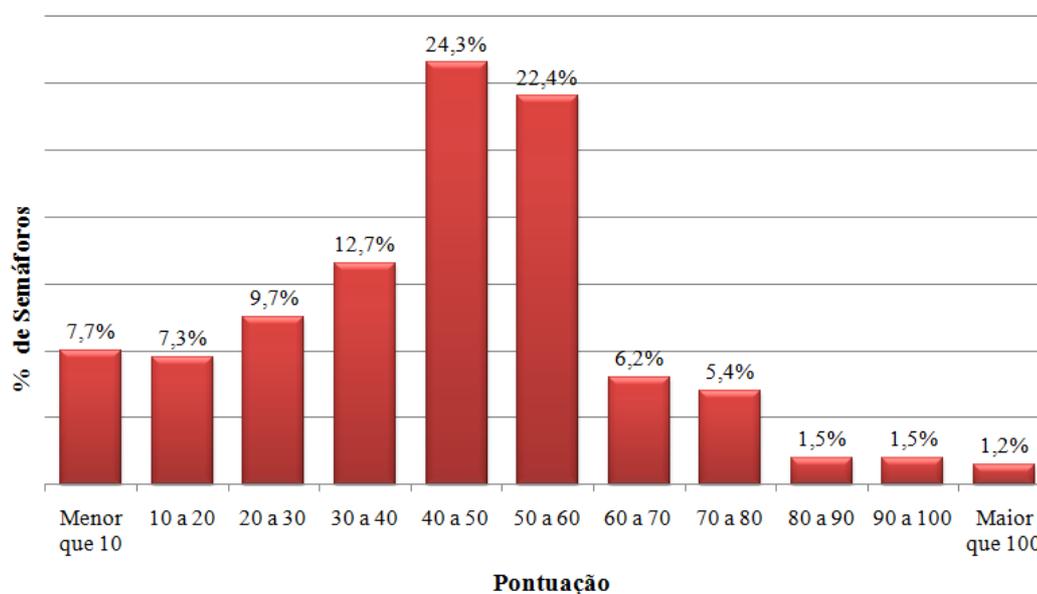


Figura 5.8: Histograma com porcentagem de semáforos a cada 10 pontos

A maior porcentagem de semáforos ficou com pontuação entre 40 e 50 pontos (24,3%). Três semáforos tiveram pontuação acima de 100 (1,2%). Isto é, numa zona acima das expectativas dos decisores, o que significa que estão em situação crítica, devendo ser mais priorizados no processo de atualização da tecnologia dos equipamentos semaforicos. O resultado espacial encontra-se na Figura 5.9.

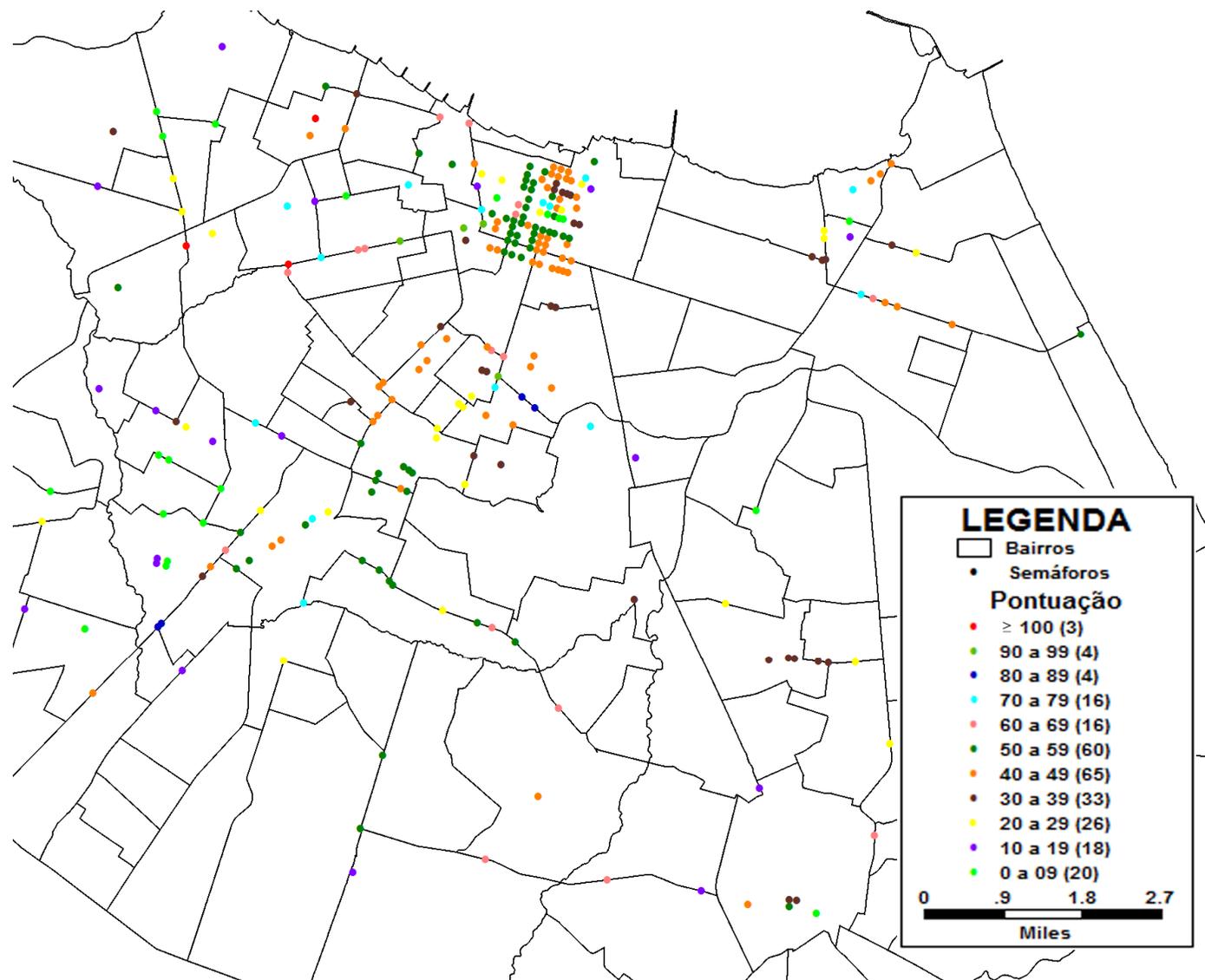


Figura 5.9: Localização espacial dos semáforos quanto à pontuação global obtida

Os 10 (dez) primeiros semáforos classificados no modelo de avaliação proposto estão apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Relação dos dez primeiros semáforos classificados de acordo com o modelo multicritério

Pontuação	SCN	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
105,50	056	Dr. Theberge	X	Francisco Sá
105,01	151	Demétrio Menezes	X	Sgt. Hermínio Sampaio
104,94	193	Humberto Monte	X	Bezerra de Menezes
96,45	091	Pe. Anchieta	X	Bezerra de Menezes
92,87	072	Justiniano de Serpa	X	Bezerra de Menezes
92,87	223	Pe. Ibiapina	X	Bezerra de Menezes
90,20	076	Expedicionários	X	Borges de Melo
86,12	067	Luciano Carneiro	X	Borges de Melo
86,12	200	Dep. Oswaldo Studart	X	Borges de Melo
81,12	218	Gen. Osório de Paiva	X	Luís Vieira

A Figura 5.10 mostra a pontuação destes semáforos para cada PVF.

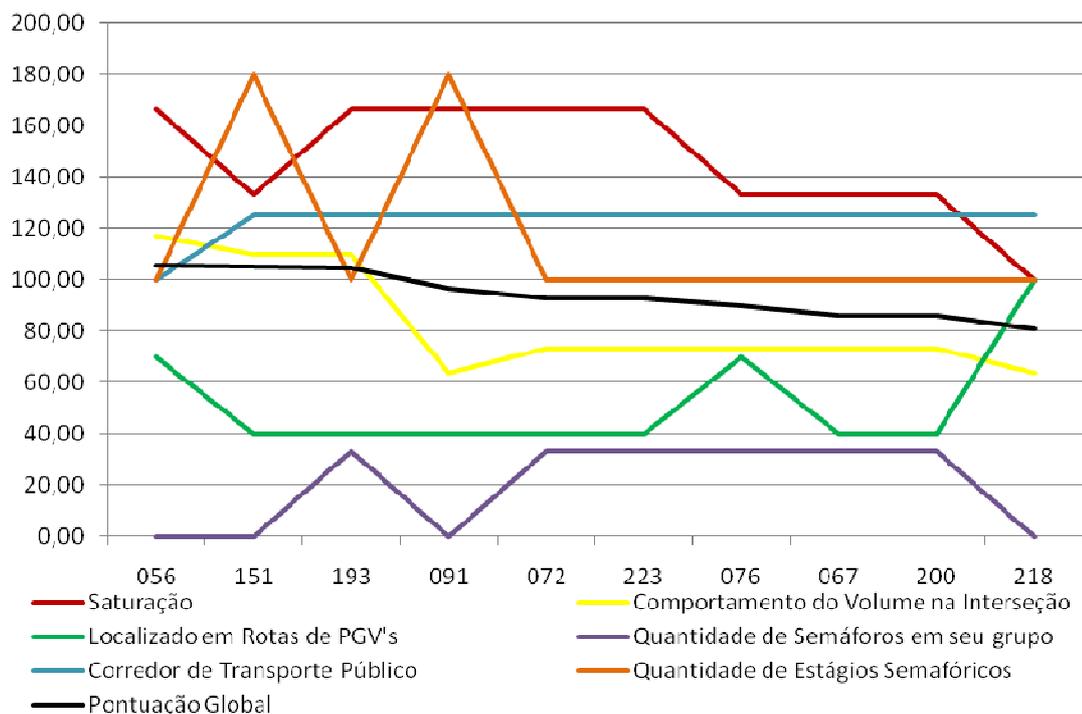


Figura 5.10: Valor obtido de cada PVF dos dez primeiros semáforos

Percebe-se que três critérios ficaram no Nível Bom (100,00) ou acima deste, em todos os semáforos, estes são: Saturação, Corredor de Transporte Público e Quantidade de Estágios Semafóricos. Somente os 3 (três) primeiros semáforos tiveram pontuação alta no PVF Quantidade de Planos Necessários. O critério Quantidade de Semáforos no Grupo proporcionou as menores pontuações, o que indica que estes semáforos são isolados ou pertencem a grupos pequenos de coordenação.

A Figura 5.11 mostra a pontuação obtida por cada semáforo para cada PVE do Comportamento do Volume na Interseção.

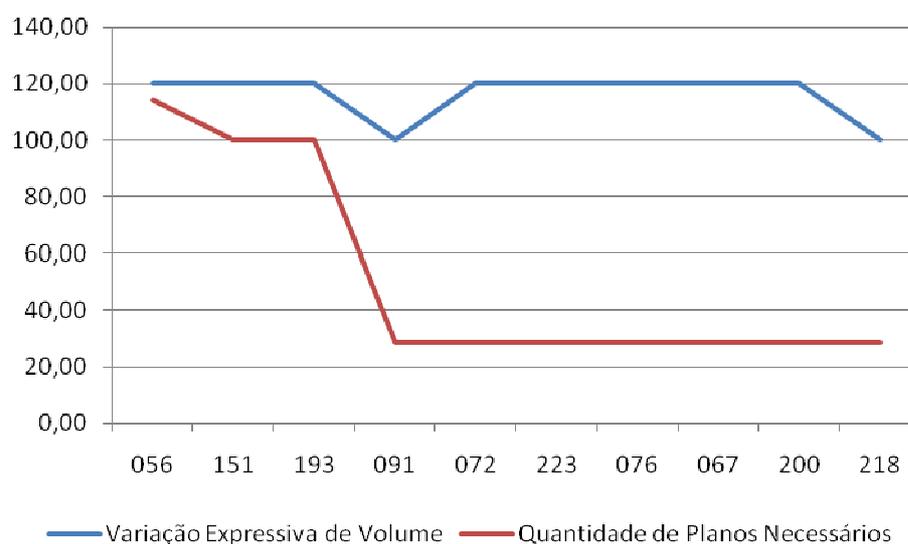


Figura 5.11: Valor obtido de cada PVE dos dez primeiros semáforos

O PVE Variação Expressiva de Volume em todos os dez semáforos ficou acima do nível Bom julgado pelos decisores. Já o outro PVE, teve pontuação acima do nível bom apenas para os três primeiros semáforos. Pode-se ver pelas Figuras 5.12 e 5.13 em quais critérios os semáforos analisados obtiveram melhores pontuações em cada PVF e PVE, respectivamente.

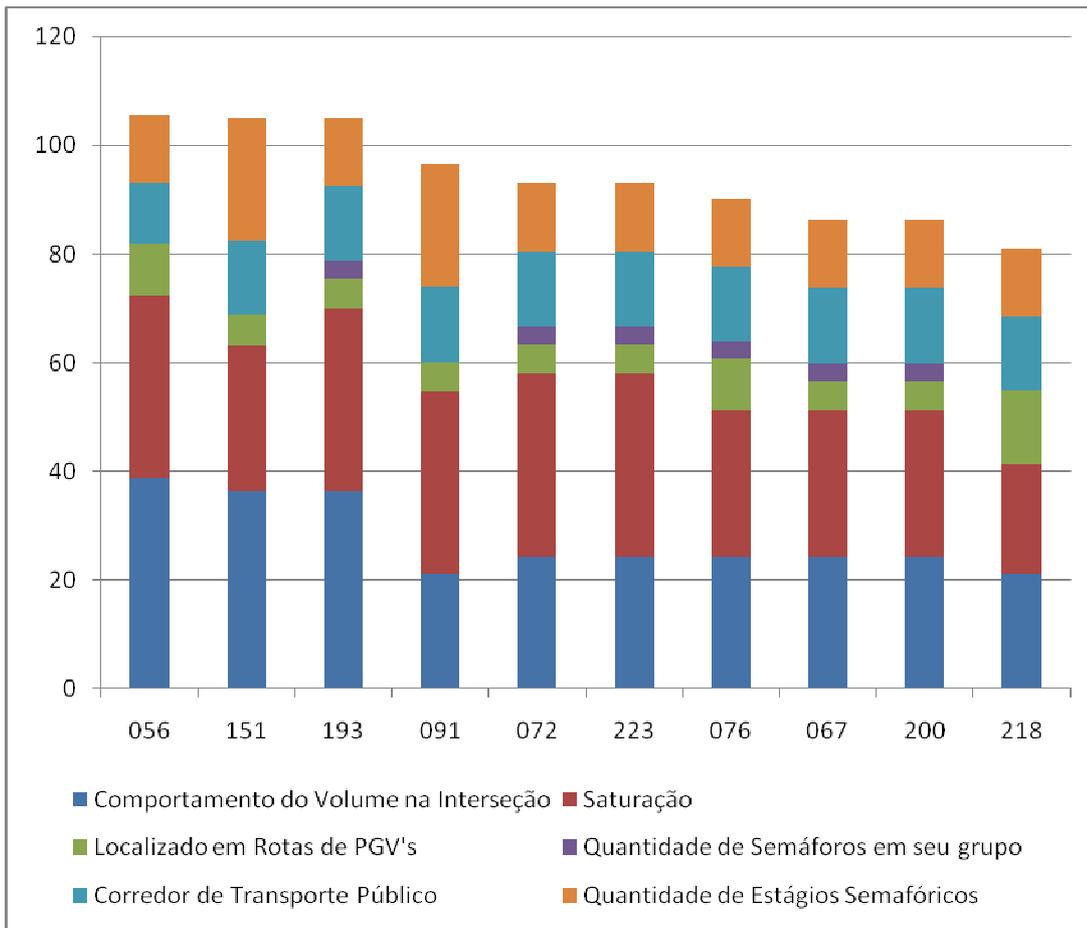


Figura 5.12: Composição da pontuação obtida dos dez primeiros semáforos classificados, segundo os PVFs

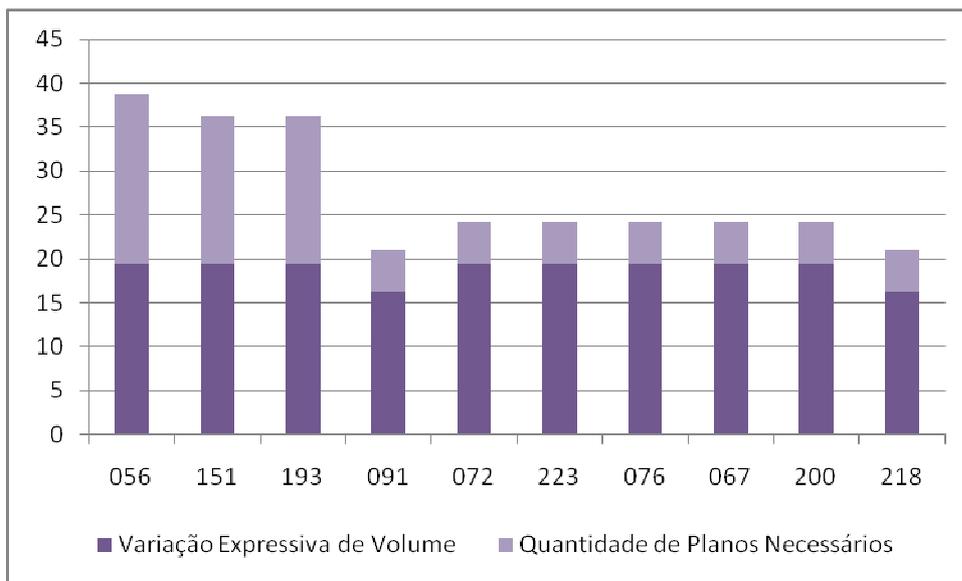


Figura 5.13: Composição da pontuação obtida dos dez primeiros semáforos classificados, segundo os PVEs

O semáforo 056 teve a maior pontuação global (105,5), estando localizado no cruzamento das Avenidas Theberge com Francisco Sá, onde as aproximações recebem um fluxo intenso em grande parte do dia. Sua pontuação alta se deve a dois critérios que ficaram acima do bom; (i) Saturação, pois este semáforo possui ciclo de 160 segundos por mais de 5 horas de um dia útil, (ii) a Variação Expressiva de Volume, que apresentou uma diferença de 56 segundos entre o maior e menor ciclo e a (iii) Quantidade de Planos Necessários, pois este semáforo possui grande variação de volume, o que exige 13 planos durante um dia. Em dois PVFs este semáforo obteve pontuação no nível bom, estes são a Localização em Corredor de Transporte Público, por existirem 15 linhas passando por ele e Quantidade de Estágios semafóricos por possuir 3 estágios. Quanto ao PVF Quantidade de Semáforos em seu grupo, este semáforo teve pontuação zero, pois não é coordenado a nenhum outro semáforo. Este semáforo possui outras características, como um fluxo muito freqüente de carros pesados, além de veículos, ciclistas e pedestres.

O semáforo 151 teve a segunda maior pontuação (105,01), estando localizado no cruzamento das Avenidas Demétrio de Menezes com Sargento Hermínio Sampaio. Este possuiu pontuação acima do bom em quatro critérios, a saber: (i) Saturação, pois possui um ciclo de 144 segundos em mais de cinco horas num dia útil, a (ii) Variação Expressiva de Volume, apresentando uma diferença de 80 segundos entre o maior e menor ciclo, (iii) Corredor de Transporte Público, com 30 linhas passam por ele, pois está localizado em uma importante rota de acesso a um Terminal de Ônibus e Quantidade de Estágios Semafóricos (4 estágios, inclusive um de pedestres, o qual é muito acionado).

O semáforo 151 é coordenado ao semáforo 508, o qual não foi analisado no MCDA por ser demandado por pedestres em meio de quadra. O semáforo 508 está localizado na Avenida Demétrio de Menezes, em frente a uma Indústria Têxtil, a qual teve a travessia de funcionários mais segura com o semáforo. Uma vez centralizando em tempo real o semáforo 151, será necessário centralizar o 508 também, para que não seja perdida a coordenação entre ambos.

O terceiro semáforo com maior pontuação (104,94) foi o 193, localizado no cruzamento da Avenida Bezerra de Menezes com a Rua Humberto Monte. Este obteve pontuação acima do nível bom em três critérios, estes são: (i) Saturação, apresentando

um ciclo de 160 segundos em mais de cinco horas de um dia útil, (ii) Variação Expressiva de Volume, com uma diferença de 88 segundos entre o maior e menor ciclo e (iii) Corredor de Transporte Público, pois passam 27 linhas por este semáforo, por ser um importante corredor leste-oeste da cidade. Este semáforo é coordenado a outros três, que são os semáforos de número 363, 413 e 595. O semáforo 363 (Av. Humberto Monte x Rua Gustavo Sampaio), foi classificado em 43º lugar no *rank*, pois opera em ciclo duplo neste grupo de coordenação, tendo um ciclo de 80 segundos em grande parte do dia, pontuando menos no PVF Saturação quando comparado ao semáforo 193, além de uma diferença menor entre o maior e menor ciclo (32 segundos).

O semáforo 413, por sua vez, não foi analisado pelo MCDA por ser demandado por pedestres em meio de quadra. O semáforo fica na Avenida Bezerra de Menezes e sua implantação foi estabelecida para facilitar a travessia de pedestres em frente a um *Shopping Center*, local onde uma grande quantidade de pedestres encontravam poucas brechas para travessia na Avenida Bezerra de Menezes, que possui três faixas de tráfego intenso.

O semáforo 595 está localizado no cruzamento da Avenida Bezerra de Menezes com a Rua Armando Oliveira e obteve pontuação no modelo igual a 73,62, ficando em 17º lugar. Considerando a necessidade de preservar a coordenação destes três semáforos com o semáforo 193 e embora a lista de classificação indique para os cruzamentos 595 e 363 a classificação 17º e 43º, respectivamente, deve ser realizado um ajustamento no cronograma de atualização dos semáforos, antecipando a centralização em tempo real destes semáforos, juntamente com a interseção 193, precedendo a implantação dos semáforos anteriormente classificados como mais prioritários.

O quarto semáforo da classificação é o 091, localizado no cruzamento da Rua Padre Anchieta com a Avenida Bezerra de Menezes. Esta faz ligação com o centro da cidade e recebe grande parte do tráfego de passagem desta região e de cidades da região metropolitana de Fortaleza como Caucaia, São Gonçalo, Pecém, entre outros. Além disso, a área de influência é caracterizada por possuir muita atividade comercial e um tráfego intenso de veículos de transporte público.

A pontuação alta do semáforo 091 se deve por ele possuir uma Saturação alta, com ciclos acima de 160 segundos em grande parte do dia, Variação de Ciclo de 64 segundos, possui mais de 20 linhas de ônibus passando por ele, exigência de 8 planos

semafóricos, além de 4 estágios semafóricos. Este semáforo não é coordenado a nenhum outro.

A quinta colocação é dividida por dois semáforos, 072 e 223, que tiveram a mesma pontuação (92,87). O semáforo 072 está localizado na Avenida Bezerra de Menezes, no cruzamento com a Rua Justiniano de Serpa. Sua pontuação alta se deve a ciclos de 160 segundos em grande parte do dia, uma variação de ciclo de 88 segundos, mais de 20 linhas de ônibus, grande número de PGVs, 8 planos semafóricos diferentes e 3 estágios.

O semáforo 223 está localizado na Avenida Bezerra de Menezes com a Rua Padre Ibiapina e é coordenado ao semáforo 072, devendo portanto ser atualizado conjuntamente. Existe ainda um terceiro semáforo que pertence a este grupo, o 370, localizado no cruzamento da Avenida Domingos Olímpio com a Rua Justiniano de Serpa, e que ocupa o 179º lugar. Este opera em ciclo duplo em comparação aos dois primeiros, possui uma variação de 44 segundos entre o maior e menor ciclo, uma frequência de ônibus menor que os dois primeiros, 7 planos semafóricos e dois estágios, e para preservar sua coordenação, deve também ter sua atualização antecipada.

Em sétimo lugar no *rank* está o semáforo 076, localizado no cruzamento das Avenidas Expedicionários com Borges de Melo. Ambas as via possuem intenso fluxo de veículos e ônibus. O semáforo possui ciclo de 128 segundos em mais de cinco horas de um dia útil, variação entre o maior e menor ciclo de 88 segundos, oito planos diferentes num dia e 3 estágios veiculares.

Em seu mesmo grupo de coordenação, existem mais três semáforos, estes são o 067 (Av. Luciano Carneiro x Av. Borges de Melo), estando em oitavo lugar, obteve uma pontuação menor, por ter menos linhas de ônibus passando por ele; o 191 (Av. Expedicionários x Rua Pré-Nove), em 13º lugar, que diferente dos dois primeiros, possui apenas dois estágios e o 200 (Av. Borges de Melo x Rua Deputado Oswaldo Studart), classificado em nono lugar.

O décimo lugar ficou empatado entre o semáforo 218 (Avenida General Osório de Paiva X Rua Luís Vieira) e o 429 (Avenida General Osório de Paiva x Rua Raimundo Neri), ambos pertencentes ao mesmo grupo de coordenação. Os dois semáforos possuem um ciclo de 120 segundos em grande parte do dia, variação de ciclo

de 56 segundos, estão em um importante corredor de tráfego (Av. Gal Osório de Paiva), oito planos semaforicos e 3 estágios.

Como foi verificado na análise dos 10 semáforos mais bem classificados segundo o modelo de avaliação desenvolvido neste trabalho, o cronograma de atualização tecnológica precisa passar por um ajustamento, visando preservar a coordenação de semáforos na rede. Assim, para a atualização tecnológica destes semáforos, é recomendada a antecipação da troca de tecnologia de mais sete semáforos, alterando conforme mostrado na Tabela 5.9 o cronograma anteriormente apresentado.

Tabela 5.9: Relação dos primeiros semáforos recomendados a modificar a tecnologia.

Ordem MCDA	Colocação Rank	Código	Logradouro A (Norte/Sul)	X	Logradouro B (Leste/Oeste)
1	1	056	Dr. Theberge	X	Francisco Sá
2	2	151	Demétrio Menezes	X	Sgt. Hermínio Sampaio
	Pedestre	508	Demétrio Menezes	X	Indústria Têxtil Guararapes
3	3	193	Humberto Monte	X	Bezerra de Menezes
	40	363	Humberto Monte	X	Gustavo Sampaio
	Pedestre	413	North Shopping	X	Bezerra de Menezes
	17	595	Armando Oliveira	X	Bezerra de Menezes
4	4	091	Pe. Anchieta	X	Bezerra de Menezes
5	5	072	Justiniano De Serpa	X	Bezerra de Menezes
	6	223	Pe. Ibiapina	X	Bezerra de Menezes
	179	370	Justiniano De Serpa	X	Domingos Olímpio
6	7	076	Expedicionários	X	Borges de Melo
	8	067	Luciano Carneiro	X	Borges de Melo
	13	191	Expedicionários	X	Pré-Nove
	9	200	Dep. Oswaldo Studart	X	Borges de Melo
7	10	218	Gen. Osório de Paiva	X	Luís Vieira
	11	429	Gen. Osório de Paiva	X	Raimundo Neri

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

O sistema viário de grandes cidades serve de cenário para a realização de uma série de atividades sócio-culturais e econômicas. Estas atividades geram a necessidade de deslocamento de pessoas e mercadorias, que ocorrem e competem por espaço em um sistema viário limitado e de difícil ampliação. A implantação de novas tecnologias de controle semafórico tem sido utilizada buscando uma operação mais inteligente na tentativa de melhorar as condições de fluidez do tráfego.

Como a aquisição e operação destas tecnologias representam um custo elevado, se faz necessário determinar criteriosamente onde sua utilização é mais vantajosa, permitindo uma alocação mais racional dos recursos disponível. A falta de critérios consistentes para definir cruzamentos semafóricos que devem receber inovações tecnológicas induz com que os órgãos gestores responsáveis pelo trânsito omitam muitos aspectos importantes no contexto decisório, deixando esta escolha imprecisa, e muitas vezes deixando de fora semáforos mais críticos da rede, prejudicando os usuários em seus deslocamentos.

Foi observada durante o desenvolvimento da pesquisa a importância da coordenação semafórica como recurso para permitir a progressão semafórica em corredores de tráfego, recurso popularmente conhecido como 'ondas verdes'. Além disso, a coordenação é importante em outras situações específicas como *links* curtos entre semáforos, onde pode se prevenir o travamento das interseções. Como existe uma incompatibilidade para a coordenação de semáforos com tecnologias distintas como é o caso da pesquisa desenvolvida, onde semáforos que operam em tempo fixo não podem estar coordenados a semáforos de tempo adaptativo, foi observado que antes de identificar um método para a classificação de interseções semafóricas críticas para a

atualização tecnológica, era necessário estudar critérios para a definição de coordenação entre semáforos.

Quanto aos critérios estudados para a definição da coordenação entre semáforos foi observado que:

a) AL KHALIL (1975) observa a diferença entre os ciclos dos dois semáforos, dando uma margem aceitável. O Manual americano estabelece que semáforos em rotas de tráfego com distâncias menores ou iguais a 800 metros deveriam ser coordenados, entretanto, não estabelece critérios para identificar vias que possam ser consideradas como rotas de tráfego, sendo, portanto uma decisão subjetiva dos técnicos. O manual escocês só leva em consideração o aspecto distância entre semáforos e a dispersão de pelotões e, esse último critério, por depender de observações do técnico, assim como o MUTCD, torna a avaliação bastante subjetiva. O método proposto pelo Manual do DENATRAN se mostrou mais consistente que outros critérios por considerar mais parâmetros, ao relacionar três critérios: distância, volume de tráfego e características do fluxo.

b) A aplicação do Índice de Interdependência proposto pelo DENATRAN em interseções revelou a inadequação dos intervalos que definem a utilização de coordenação (escala apresentada na Figura 2.4). Através da aplicação da Equação 2.1 numa amostra de 157 pares de semáforos de Fortaleza (coordenados ou não) e que apresentam bom desempenho segundo vistorias realizadas em campo pelos técnicos do CTAFOR, foi observado que a utilização do método com os patamares originalmente propostos resultaria que 43,1% dos semáforos que hoje operam coordenados deveriam passar a ter uma operação isolada, indicando a inadequação da escala de valores proposta pelo DENATRAN para a realidade de Fortaleza.

c) Foi realizada uma análise estatística com base nos valores obtidos na amostra estudada, e percebeu-se que ambas as médias dos semáforos isolados e coordenados pertenciam à mesma população, o que mostra que a fórmula do DENATRAN não é adequada para a cidade de Fortaleza. Dentre as possíveis razões pode ser considerado o fato de estes valores poderem estar defasados diante dos padrões atuais do tráfego, uma vez que foram propostos há 25 anos, além das especificidades locais como a própria configuração da malha viária da cidade.

Quanto ao modelo proposto para a hierarquização de interseções semaforicas candidatas a atualização da tecnologia de controle, foi identificado que deveria ser considerada a substituição dos controladores em tempo fixo não centralizado (monoplano ou multiplano) pelos equipamentos do tipo centralizado em tempo real. Esta definição foi embasada nas diretrizes definidas pelo planejamento do órgão gestor, levando em consideração que a utilização desta tecnologia vem sendo empregada em Fortaleza desde o ano 2000, e o órgão possui bastante domínio na implantação e operação desta tecnologia, com bons resultados nas áreas onde a mesma está em funcionamento.

Para o desenvolvimento do modelo proposto foi utilizada a metodologia MCDA e quanto à aplicação desta ferramenta podem ser elencadas as seguintes conclusões:

a) Foi possível estabelecer entre os técnicos do órgão gestor um ambiente participativo e de aprendizagem. Isto permitiu considerar diversos aspectos que não estavam sendo inicialmente contemplados.

b) A obtenção do consenso entre os decisores e a transparência existente nas etapas de desenvolvimento do modelo foram resultados decorrentes deste processo participativo e da compreensão aprofundada da problemática.

c) A metodologia se mostrou flexível para a incorporação de novos aspectos que foram sendo mais bem esclarecidos ao longo do desenvolvimento do modelo.

d) A possibilidade de obtenção de um modelo de avaliação global, onde todos os aspectos relatados do contexto decisório puderam ser agregados numa pontuação única foi fundamental para estabelecer o processo de hierarquização das interseções avaliadas, uma vez que a análise individual destes aspectos, embora permita identificar situações críticas, tornaria bastante impreciso o processo de escolha.

O resultado da aplicação do MCDA foi a obtenção de um modelo para a identificação de interseções semaforicas críticas, cumprindo desta forma o objetivo geral do trabalho, que era o de desenvolver um método para hierarquizar semaforos com tecnologia de tempo fixo para a atualização tecnológica. O modelo permitiu definir uma ordem de prioridade para a substituição destes equipamentos pela tecnologia centralizada em tempo real.

Para se chegar ao objetivo geral, foram cumpridos alguns objetivos específicos. O primeiro foi realizar uma revisão bibliográfica dos estudos referentes às tecnologias de equipamentos semafóricos, assim como dos critérios para a identificação de semáforos críticos que devem atualizar sua tecnologia. Após a definição dos critérios de coordenação semafórica e da concepção do modelo de hierarquização dos semáforos candidatos a atualização tecnológica foi realizado ainda um Estudo de Caso na malha semafórica de Fortaleza. Esta etapa contemplou a análise de 157 pares de semáforos, onde foram coletados todos os dados necessários tanto para o cálculo do Índice de Interdependência e a definição da coordenação entre semáforos, como para a aplicação do modelo multicritério. Algumas das conclusões obtidas com a realização do estudo de caso foram:

a) Percebe-se que 03 (três) semáforos da área de estudo tiveram pontuação acima do Nível Bom (pontuação maior que 100), revelando semáforos bastante críticos para a atualização tecnológica.

b) Os primeiros colocados demonstraram elevados volumes de tráfego e uma variação significativa destes valores ao longo do dia, indo de encontro às vantagens oferecidas pelo controle em tempo adaptativo. A existência de muitas linhas de ônibus foi outro aspecto que contribuiu para a pontuação elevada destas interseções, atendendo às diretrizes estabelecidas pelos técnicos de trânsito, que foi de procurar beneficiar o transporte coletivo com a priorização de investimentos nas áreas por onde circulam linhas de ônibus.

c) Considerando os 10 (dez) semáforos mais bem classificados segundo o modelo, e analisando o critério de coordenação foi verificado que para a atualização destes equipamentos será necessário fazer a atualização de outros 07 (sete) semáforos que estavam classificados mais abaixo na hierarquização obtida. A observação deste aspecto resultou na necessidade de realizar alguns ajustamentos para a definição de um cronograma de implantação.

d) Os resultados obtidos com a aplicação do modelo corresponderam às expectativas dos decisores envolvidos, servindo inclusive para a credibilidade do modelo desenvolvido.

A aplicação do modelo, além de cumprir com o objetivo inicial, trouxe à equipe uma visão mais abrangente dos problemas da rede semafórica de Fortaleza. A observação dos mapas temáticos apresentando a pontuação dos semáforos no modelo permitiu uma percepção espacial deste problema, identificando áreas mais críticas da cidade e servindo de apoio nas ações de planejamento dos técnicos.

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para este trabalho, a análise da coordenação foi realizada tomando como referência semáforos centralizados em tempo real, uma vez que isto facilitou a obtenção dos dados de tráfego no banco de dados do CTAFOR, onde foi possível obter todos os dados exigidos pela fórmula do DENATRAN. Sendo assim, recomenda-se aos técnicos que seja realizada uma avaliação mais minuciosa na etapa de implantação da atualização semafórica para a confirmação dos grupos de coordenação estabelecidos.

O modelo construído neste trabalho foi desenvolvido segundo as preferências e julgamento de valor de um grupo de técnicos com experiência na gestão do tráfego da cidade de Fortaleza. Sendo assim, a aplicação em outras cidades demanda a construção de um novo modelo, de forma a traduzir as percepções dos decisores envolvidos.

É recomendado também que os dados levantados no modelo desenvolvido sejam constantemente atualizados, pois modificações, como por exemplo, a alteração do plano de operação dos semáforos pode alterar sua colocação na lista de hierarquização. Também é necessário que o modelo seja constantemente reavaliado, uma vez que os pontos de vista dos técnicos estão sujeitos a serem modificados. Além disso, alterações na equipe técnica podem trazer visões diferentes do contexto, como por exemplo, a incorporação de um novo parâmetro a ser levado em consideração.

Para a realização de trabalhos futuros, recomenda-se:

a) O estabelecimento de um modelo multicritério para a implantação de semáforos em interseções não semaforizadas, auxiliando assim as atividades de planejamento do órgão gestor, servindo como ferramenta para o Plano Diretor de Semáforos.

b) Utilização de recursos de simulação de tráfego que possam ser incorporados ao processo decisório, como a avaliação de cenários de intervenção.

c) Avaliar a atualização de equipamentos semaforicos em diferentes corredores de tráfego, permitindo comparar resultados obtidos, inclusive através de uma avaliação benefício-custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL KHALILI, A. J. (1975) Criteria for Defining Sub-Areas for Use in Computer-Controlled Area Traffic Networks. *Traffic Engineering & Control*.
- AQUINO, E. A. e G. P. L. PARENTE (2009) Metodologia de Implantação de Grupos Focais para Pedestres em Travessias do Tipo Carona nas Interseções SemafORIZADAS – Caso Fortaleza. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito - ANTP*. Comunicação Técnica 313. Associação Nacional de Transporte Público (ANTP). Curitiba, 2009.
- ASTEF (1998) *Projeto CTAFOR*. Associação Técnico-Científica Engº Paulo Frontin - ASTEF. Departamento de Trânsito do Ceará – DETRAN/CE. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, 1998.
- ASTRID (2009) Dados de Volume de Tráfego dos Semáforos Centralizados. *Automatic SCOOT Traffic Information Database*. Versão 1.3.1.
- BANA e COSTA, C. A. (1992) Structuracion, Construction et Exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la decisión, PhD Thesis – Universidade Técnica de Lisboa.
- BANA e COSTA, C. A. (1993) Três Convicções Fundamentais na Prática do Apoio à Decisão. *Pesquisa Operacional*, v. 13 , n.1, pp. 09-20.
- BANA E COSTA, C. A. (1995a) Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, actores e acções, Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão, ENE, UFSC, Florianópolis.
- BANA E COSTA, C. A. (1995b) Processo de Apoio à Decisão: *O que entender por Tomada de Decisão Multicritério ou Multiobjetivo?*, Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão, ENE, UFSC, Florianópolis.
- BANA e COSTA, C. A. e J. C. VASNICK (1995) Uma Abordagem ao Problema de Construção de uma Função de Valor Cardinal: MACBETH. *Investigação Operacional*, v. 15, p. 15-35.

- BANA e COSTA, C. A.; VASNICK, J.C. (1997) Applications of the MACBETH Approach in the Framework of an Additive Aggregation Model, *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, v.6, n.2, p. 107-114.
- BEINAT, E. (1995) *Multiattribute Value Functions for Environmental Management*. Amsterdam: Tinbergen Institute Research Series.
- BELTON, V. (1990) Multiple Criteria Decision Analysis – Practically the Only Way to Choose. In: Hendry, L. C. e Englese, R. W. *Operational Research Tutorial Papers: 1990*. Birmingham: Operational Research Society.
- BOUYSSOU, D. (1989) Modeling inaccurate determination, uncertainty, imprecision using multiple criteria. In: Lockett, A. G. , Islei, G. (eds.) *Improving Decision Making in Organizations*, pp. 78-87, Berlin: Springer.
- BONETTI JUNIOR, W. e H. PIETRANTONIO (2001) Utilização de Semáforos Atuados pelo Tráfego.
- CALIPER (1996) *TransCAD - Transportation Workstation Software, User's Guide, Version 3.0 for Windows*, Caliper Corporation, Newton, EUA.
- CET (1997) Uma Breve Descrição do Sistema SCOOT. Companhia de Engenharia de Tráfego. Engº Sun Hsien Ming. Nota Técnica 201/97. São Paulo.
- CET (2006) *Plano Diretor de Semáforos. Diretrizes e Ações*. Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo, 2006.
- CET (2007) Relatório de Gestão 2005 – 2007. Companhia de Engenharia de Tráfego.
- CUCCI NETO, J. (2001) O Controle Semafórico Centralizado e a Operação de Campo. Disponível no site http://meusite.mackenzie.com.br/professor_cucci/texto21.pdf.
- CTAFOR (2005) Guia de Programação Semafórica. Manual de Procedimentos Técnicos. Controle de Tráfego em Área de Fortaleza.
- CTAFOR (2009) *Relação de Semáforos de Fortaleza*. Relatório de Controle Interno. Controle de Tráfego em Área de Fortaleza.

- DENATRAN (1984) *Manual de Semáforos*. Coleção Serviços da Engenharia. Ministério da Justiça. Departamento Nacional de Trânsito. 2º Edição. Brasília, 1984.
- DENATRAN (2010) *Dados da Frota Anual do Brasil*, disponível em <http://www.denatran.gov.br/frota>, acessado em 19/04/2010.
- DUTRA, A. (1998) *Elaboração de um Sistema de Avaliação de Desempenho dos Recursos Humanos da Secretaria de Estado da Administração – SEA à luz da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ENSSLIN, L; MONTIBELLER NETO, G. e NORONHA, S. M. (2001). *Apoio à Decisão. Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Editora Insular. Florianópolis, 2001.
- FHWA (2003) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. 2003 Edition.
- GRECO, S. (1997) A new PCCA method: IDRA. *European Journal of Operational Research*, v.98, p. 587-601.
- HOLZ, E; COSTA, A.; MARTINS, F. S.; JUNIOR, F. (1996) As convicções do Processo de Apoio à Decisão. *Apostila da disciplina MCDA I – EPS/UFSC*.
- IEA (2002) *Bus Systems for the Future. International Energy Agency. Achieving Sustainable Transport Worldwide*. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/bussystems2002.pdf>. Acessado em 22 de Junho de 2009.
- IPEA (2003) *Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas Brasileiras*. Relatório Executivo. Governo Federal - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP). Brasília, 2003.
- KEENEY, R. L. (1996) *Value-Focused Thinking*. England: Harvard University Press.
- LARICHEV, O. I.; MOSHKOVICH, H. M. (1997) *Verbal Decision Analysis for Unstructured Problems*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

- LEANDRO, C. H. P. (2001) Procedimento Multicriterial para Estruturação e Caracterização de Sistemas Centralizados de Controle de tráfego Urbano. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, 2001.
- LOUREIRO, C. F. G.; GOMES, M. J. T. L.; LEANDRO, C. H. P. Avaliação do Desempenho nos Períodos de Pico do Tráfego de Interseções Semáforizadas com Controle Centralizado em Tempo Fixo e Real. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*, 2002, Natal, RN. Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes 2002, 2002. v. 1. p. 365-376.
- LOUREIRO, C. F. G.; C. H. P. LEANDRO; M. V. T. OLIVEIRA (2002) Sistema Centralizado de Controle de tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET*. Natal, 2002.
- LUIS VILANOVA (2005) Programação de um Semáforo Usando o Método do Grau de Saturação. Disponível em:
<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/saturacao.pdf>. Acessado em 28/04/2010.
- MEDEIROS, F. C.; M. S. LUNA; C. F. G. LOUREIRO (2001) Controle de Tráfego em Área de Fortaleza – CTAFOR: Uma Nova Experiência na Gerência do Trânsito.
- OLIVEIRA NETO, F. M. (2004) Priorização do Transporte Coletivo por Ônibus em Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego. Dissertação de Mestrado, Programa de mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- OSBORN, A.F. (1993) *Applied Imagination*. Buffalo: Creative Education Foundation, 3 Ed.
- PEEK (2001) Operator Manual – ASTRID. Volume D, Peek Traffic LTD, London, UK.
- PEREIRA, L. F. (2005) Um Procedimento de Apoio a Decisão para Escolha de Sistemas de Controle de Tráfego Considerando a Coleta Automatizada de Dados.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2005.

- PEREIRA NETO, W. A. (2001) Modelo Multicritério de Avaliação de Desempenho Operacional do Transporte Coletivo por Ônibus no Município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, 2001.
- PEREIRA NETO, W. A.; OLIVEIRA, M. V. T.; GOMES, M. J. T. L.; MENESES, H. B. e LOUREIRO, C. F. G. (2003) Avaliação do Desempenho Operacional em Períodos de Pico do Controle Semafórico em Tempo Real nos Corredores Arteriais de Fortaleza. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*, 2003, Rio de Janeiro.
- RIBEIRO, M. V. M.; PEREIRA, G. (2007) Controle de Tráfego em Tempo Real: Novos Paradigmas, Dificuldades e Primeiros Resultados – O Caso do Controle Inteligente de Tráfego – CIT. *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito – ANTP*, 2007, Maceió.
- ROBERTS, F.S. (1979) *Measurement Theory with Applications to Decision making Utility and the Social Sciences*. Addison-Wesley.
- ROBERTSON, D.I. (1986) *Research on TRANSYT and SCOOT Methods of Signal Coordination*. ITE Journal, pp. 36-40, Jan 1986.
- ROY, B. (1996) *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- SEDD (1973) *Criteria of Traffic Light at Junctions. Signals Technical Memorandum SH6/73*. Scottish Executive Development Department. Disponível no site www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol8/section1/sh6_73.pdf.
- STEWART, J.A.; K. LEPIK e M. VAN AERDE (1999) Benefit Sensitivity of Adaptive Traffic Control Strategies at Isolated Traffic Signals. *Transportation Research Record 1692*, pp. 173-182, Washington, D.C., EUA
- TAU (1995) The “SCOOT” Urban Traffic Control System. *Traffic Advisory Leaflet 4/95*, Traffic Advisory Unit, The Department of Transport, Londres, Inglaterra.
- TEIXEIRA E. H. S. B (2006) Um Procedimento para Geração de Alternativas Operacionais de Gerenciamento do Tráfego Através da Micro-Simulação.

Dissertação de mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

TRINDADE FILHO H. H. (2002) *Análise Comparativa do Potencial de Sistemas Centralizados para Controle de Tráfego no Brasil*. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Sistemas de Transportes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

VASCONCELOS, E. A. (2003) *Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento. Reflexões e Propostas*. 3ª Edição. Editora Annablume.

WAGNER, H. M. (1986) *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 2ª ed.

ANEXOS

ANEXO I

MATRIZES DE JULGAMENTO SEMÂNTICO PARA OBTENÇÃO DAS FUNÇÕES DE VALOR

Este anexo contém todas as matrizes de julgamento semântico utilizadas no método MACBETH para determinação das funções e escalas de valor dos níveis de impacto dos descritores.

Tabela I.1: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF1 - Saturação

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	4	5	6	6	166,7
<i>N2</i>	X	X	3	4	6	133,3
<i>N3</i>	X	X	X	4	6	100
<i>N4</i>	X	X	X	X	4	55,6
<i>N5</i>	X	X	X	X	X	0

Tabela I.2: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVE2.1 – Quantidade de Planos Necessários

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	3	4	6	6	120
<i>N2</i>	X	X	4	6	6	100
<i>N3</i>	X	X	X	5	6	73,3
<i>N4</i>	X	X	X	X	3	20
<i>N5</i>	X	X	X	X	X	0

Tabela I.3: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVE2.2 – Variação Expressiva de Volume

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	1	4	5	114,3
<i>N2</i>	X	X	4	5	100
<i>N3</i>	X	X	X	1	28,6
<i>N4</i>	X	X	X	X	0

Tabela I.4: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF3 – Localizado em Rotas de PGV

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	4	5	6	6	150
<i>N2</i>	X	X	3	4	6	100
<i>N3</i>	X	X	X	3	4	70
<i>N4</i>	X	X	X	X	4	40
<i>N5</i>	X	X	X	X	X	0

Tabela I.5: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF4 – Quantidade de Estágios Semafóricos

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	4	6	180
<i>N2</i>	X	X	5	100
<i>N3</i>	X	X	X	0

Tabela I.6: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF5 – Localizado em Corredor de Transporte Público

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	2	3	5	6	125
<i>N2</i>	X	X	2	4	5	100
<i>N3</i>	X	X	X	3	4	75,1
<i>N4</i>	X	X	X	X	3	37,5
<i>N5</i>	X	X	X	X	X	0

Tabela I.7: Matriz de Julgamento Semântico das funções de valor e Escala MACBETH do PVF6 – Quantidade de Semáforos em seu Grupo

	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	<i>N6</i>	ESCALA MACBETH
<i>N1</i>	X	2	3	4	5	6	166,7
<i>N2</i>	X	X	2	3	4	5	133,3
<i>N3</i>	X	X	X	2	3	4	100
<i>N4</i>	X	X	X	X	2	3	66,7
<i>N5</i>	X	X	X	X	X	2	33,3
<i>N6</i>	X	X	X	X	X	X	0

ANEXO II

MATRIZES DE JULGAMENTO SEMÂNTICO PARA DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO

Este anexo contém a matriz de julgamento semântico utilizada no método MACBETH para determinação das taxas de substituição dos diversos pontos de vista existentes do modelo de avaliação proposto.

Tabela II.1: Matriz de Julgamento Semântico e Taxas de Substituição para os Pontos de Vista: PVF1 – Saturação, PVF2 – Comportamento do Volume na Interseção, PVF3 – Localizado em Rotas de PGV, PVF4 – Quantidade de Estágios Semafóricos, PVF5 – Corredor de Transporte Público, PVF6 – Quantidade de Semáforos em seu Grupo

	PVF2	PVF1	PVF3	PVF4	PVF5	PVF6	Taxas de Substituição (%)
PVF2	X	5	5	6	6	6	33,09
PVF1	X	X	2	2	4	4	20,22
PVF3	X	X	X	1	1	1	13,85
PVF4	X	X	X	X	1	1	12,31
PVF5	X	X	X	X	X	1	10,77
PVF6	X	X	X	X	X	X	9,23

Tabela II.2: Matriz de Julgamento Semântico e Taxas de Substituição para os Pontos de Vista: PVE2.1 – Quantidade de Planos Necessários, PVE2.2 - Variação Expressiva de Volume

	PVE2.1	PVE2.2	Taxas de Substituição (%)
PVE2.1	X	1	51,10
PVE2.2	X	X	48,90

ANEXO III

HIERARQUIZAÇÃO DOS SEMÁFOROS DE ACORDO COM PONTUAÇÃO GLOBAL DO MODELO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO

Tabela III.1: Avaliação Global obtida com o modelo proposto para todos os semáforos analisados

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
105,50	056	Dr. Theberge	X	Francisco Sá
105,01	151	Demétrio Menezes	X	Sgt. Hermínio Sampaio
104,94	193	Humberto Monte	X	Bezerra de Menezes
96,45	091	Pe. Anchieta	X	Bezerra de Menezes
92,87	072	Justiniano de Serpa	X	Bezerra de Menezes
92,87	223	Pe. Ibiapina	X	Bezerra de Menezes
90,20	076	Expedicionários	X	Borges de Melo
86,12	067	Luciano Carneiro	X	Borges de Melo
86,12	200	Dep. Oswaldo Studart	X	Borges de Melo
81,12	218	Gen. Osório de Paiva	X	Luís Vieira
81,12	429	Gen. Osório de Paiva	X	Raimundo Neri
78,37	308	Godofredo Maciel	X	Nereu Ramos
77,70	191	Expedicionários	X	Pré-Nove
76,80	171	Manuel Jesuíno	X	Abolição
76,20	081	Aguanambi	X	Borges de Melo
75,39	346	Lineu Machado	X	Carneiro de Mendonça
73,62	595	Armando Oliveira	X	Bezerra de Menezes
73,44	042	Pe. Ibiapina	X	Dq. de Caxias
73,28	088	Pe. Anchieta	X	Sgt. Hermínio Sampaio
72,96	017	Olavo Bilac	X	Bezerra de Menezes
72,96	066	Alberto Nepomuceno	X	João Moreira
72,96	264	Gen. Osório de Paiva	X	Eduardo Perdigão
72,15	260	Valdetário Mota	X	Santos Dumont
70,70	241	Dr. Theberge	X	Sgt. Herminio Sampaio
70,45	571	15 de Novembro	X	César Rossas
67,88	162	Imperador	X	Pedro Pereira
67,88	232	Imperador	X	Pedro I
65,12	238	Jacinto Matos	X	Pres. Castelo Branco
64,77	410	Castelo de Castro	X	Pres. Costa E Silva
63,84	217	Expedicionários	X	Eduardo Girão

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
63,65	099	Eretides Martins	X	Bezerra de Menezes
63,65	435	Cel. Mozart Gondim	X	Bezerra de Menezes
63,42	398	Mal-Me-Quer	X	Dedé Brasil
62,32	472	Heróis do Acre	X	Dedé Brasil
62,02	510	Pres. Juscelino Kubitschek	X	Pres. Costa E Silva
61,10	186	Jorge Dummar	X	Eduardo Girão
60,97	461	Filomeno Gomes	X	Pres. Castelo Branco
60,93	363	Humberto Monte	X	Gustavo Sampaio
60,46	494	Augusto dos Anjos	X	Seixas Correia
60,46	495	Washington Soares	X	Francisco Leandro (Pedestre)
60,07	307	Júlio Azevedo	X	Santos Dumont
59,67	329	Gen. Osório de Paiva	X	Nereu Ramos
58,91	036	24 de Maio	X	Castro E Silva
58,55	240	Bernardo Manuel	X	Pres. Costa E Silva
58,21	509	Alm. Rubim	X	Elcias Lopes
58,14	371	Alberto Magno	X	Romeu Martins
58,14	434	Prof. Gomes de Matos	X	Romeu Martins
58,09	176	Dioguinho	X	Santos Dumont
56,14	204	Pe. Anchieta	X	Francisco Sá
55,75	399	Prof. Stella Cochrane	X	Dedé Brasil
55,38	004	Br. do Rio Branco	X	Dq. de Caxias
55,38	005	Sen. Pompeu	X	Dq. de Caxias
55,38	006	Gen. Sampaio	X	Dq. de Caxias
55,38	008	Tristão Gonçalves	X	Dq. de Caxias
55,38	009	Gen. Sampaio	X	Meton de Alencar
55,38	020	Maj. Facundo	X	Dq. de Caxias
55,38	039	Imperador	X	Meton de Alencar
55,38	043	Universidade	X	Domingos Olímpio
55,38	062	Assunção	X	Dq. de Caxias
55,38	064	Imperador	X	Dq. de Caxias
55,38	082	Solon Pinheiro	X	Dq. de Caxias
55,38	092	Imperador	X	Guilherme Rocha
55,38	093	Tristão Gonçalves	X	Meton de Alencar
55,38	106	Universidade	X	Antônio Pompeu
55,38	121	Imperador	X	Antônio Pompeu
55,38	131	Imperador	X	Domingos Olímpio
55,38	178	Tristão Gonçalves	X	Pedro Pereira
55,38	206	Gen. Sampaio	X	Clarindo de Queiroz
55,38	229	Tristão Gonçalves	X	Pedro I
55,38	230	Tristão Gonçalves	X	São Paulo
55,38	233	Imperador	X	São Paulo
55,38	258	Imperador	X	Castro E Silva

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
55,38	387	Imperador	X	Clarindo de Queiroz
55,38	531	Imperador	X	Sen. Alencar
55,02	249	Augusto dos Anjos	X	Júlio Braga
55,02	572	Gen. Osório de Paiva	X	Gomes Brasil
54,96	578	Bernardo Manuel	X	Benjamim Brasil
54,72	212	Pe. Perdigão Sampaio	X	Mister Hull
54,23	577	Gen. Osório de Paiva	X	Oswaldo Aranha
54,23	215	Pe. Pedro de Alencar	X	José Hipólito
53,67	152	Gov. João Carlos	X	Dedé Brasil
53,67	480	José Meneleu	X	Dedé Brasil
53,67	481	Equador	X	Dedé Brasil
53,67	482	Justa Araújo	X	Dedé Brasil
53,67	483	Paraguaçu	X	Dedé Brasil
52,70	431	Alm. Rubim	X	Prof. Teodorico
52,70	433	Equador	X	Isaie Bóris
52,70	518	Alm. Rubim	X	15 de Novembro
52,63	021	Tristão Gonçalves	X	Liberato Barroso
52,63	023	Tristão Gonçalves	X	Guilherme Rocha
52,63	059	Pe. Mororó	X	Dq. de Caxias
52,63	122	Tristão Gonçalves	X	Antônio Pompeu
52,63	143	Tristão Gonçalves	X	Domingos Olímpio
52,63	400	Princesa Isabel	X	Dq. de Caxias
52,57	226	Alberto Nepomuceno	X	Pessoa Anta
51,31	328	João Pessoa	X	Ceará
51,25	133	Adriano Martins	X	Francisco Sá
50,81	357	Equador	X	15 de Novembro
50,57	135	Dr. Theberge	X	Pres. Castelo Branco
49,89	225	Abolição	X	Beira Mar
49,89	403	Juvêncio Vasconcelos	X	Abolição
49,89	404	Via Expressa	X	Abolição
49,88	007	24 de Maio	X	Dq. de Caxias
49,88	087	Sen. Pompeu	X	Antônio Pompeu
49,88	102	Sen. Pompeu	X	Domingos Olímpio
49,88	355	Tereza Cristina	X	Meton de Alencar
49,88	368	Tereza Cristina	X	Domingos Olímpio
49,88	369	Princesa Isabel	X	Domingos Olímpio
49,04	268	Prof. Otávio Lobo	X	Santos Dumont
49,04	373	Batista de Oliveira	X	Santos Dumont
48,73	198	Luciano Carneiro	X	Min. Joaquim Bastos
48,73	235	Luciano Carneiro	X	Eduardo Girão
48,49	548	Expedicionários	X	Santa Quitéria
48,03	325	Damasceno Girão	X	Eduardo Girão

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
47,17	331	José Bastos	X	Delmiro de Farias
47,17	527	Augusto dos Anjos	X	Araraquara
47,17	529	Gen. Osório de Paiva	X	Perdigão de Oliveira
47,17	538	João Pessoa	X	Major Weyne
47,08	596	Gal. Sampaio	X	Sen. Alencar
46,63	025	Pasteur	X	Francisco Sá
46,41	037	Br. do Rio Branco	X	Castro e Silva
46,41	109	Sen. Pompeu	X	João Moreira
46,41	116	Gen. Sampaio	X	São Paulo
46,41	137	Br. do Rio Branco	X	João Moreira
46,41	150	Gen. Sampaio	X	Castro e Silva
46,41	261	Gen. Sampaio	X	João Moreira
46,41	303	Sen. Pompeu	X	Castro e Silva
46,41	553	Maj. Facundo	X	Castro e Silva
45,73	077	Jaime Benévolo	X	Domingos Olímpio
45,73	107	Solon Pinheiro	X	Clarindo de Queiroz
45,73	132	Jaime Benévolo	X	Antônio Pompeu
45,73	163	Solon Pinheiro	X	Domingos Olímpio
45,73	179	Br. de Aratanha	X	Domingos Olímpio
45,73	205	Sen. Pompeu	X	Clarindo de Queiroz
45,73	281	Assunção	X	Domingos Olímpio
45,73	427	Sen. Pompeu	X	Meton de Alencar
45,51	117	João Pessoa	X	Prof. Costa Mendes
45,51	311	João Pessoa	X	Alexandre Baraúna
45,51	326	João Pessoa	X	Teles de Sousa
45,51	463	João Pessoa	X	Des. Praxedes
45,51	537	João Pessoa	X	Álvaro Fernandes
45,37	502	Antônio Fiúza	X	15 de Novembro
44,99	359	Godofredo Maciel	X	Detran
43,65	030	Sena Madureira	X	Visc. de Sabóia
43,65	038	24 de Maio	X	Sen. Alencar
43,29	244	Dep. Oswaldo Studart	X	Eduardo Girão
41,83	545	Luciano Carneiro	X	Francisco Lorda
41,73	385	Gen. Osório de Paiva	X	Pedro Martins
41,73	462	Gen. Osório de Paiva	X	Júlio Braga
41,73	496	Granja Castelo	X	Jorn. Tomás Coelho
41,73	194	José Bastos	X	José Façanha
41,73	330	José Bastos	X	Humberto Monte
41,66	542	Filomeno Gomes	X	São Paulo
41,60	010	Solon Pinheiro	X	Antônio Pompeu
41,60	086	Br. do Rio Branco	X	Domingos Olímpio
41,60	156	Br. do Rio Branco	X	Antônio Pompeu

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
41,60	228	Br. do Rio Branco	X	Meton de Alencar
41,60	356	Tereza Cristina	X	Clarindo de Queiroz
41,60	426	Br. do Rio Branco	X	Clarindo de Queiroz
41,59	515	Dr. Theberge	X	Consul Gouveia
41,54	126	Francisco Matos	X	Santos Dumont
41,20	453	Pres. Juscelino Kubitschek	X	Eldorado
39,86	159	Expedicionários	X	Alm. Rufino
39,11	365	Alberto Craveiro	X	Pedro Dantas
38,97	327	Augusto dos Anjos	X	Emílio de Menezes
38,54	332	José Bastos	X	Teles de Sousa
37,51	013	Sena Madureira	X	Pedro Pereira
36,89	248	Cel. Jucá	X	Dom Luís
36,89	417	Frederico Borges	X	Dom Luís
36,85	192	Damasceno Girão	X	Borges de Melo
36,76	034	Sen. Pompeu	X	São Paulo
36,76	161	Br. do Rio Branco	X	São Paulo
36,56	370	Justiniano de Serpa	X	Domingos Olímpio
35,95	473	Mozart Pinheiro Lucena	X	D
34,43	361	Valdetário Mota	X	Alberto Sá
34,13	180	Frei Mansueto	X	Dom Luís
33,38	097	Solon Pinheiro	X	Pedro Pereira
33,38	550	Jaime Benévolo	X	Saldanha Marinho
33,38	551	Br. de Aratânia	X	Saldanha Marinho
32,70	581	Dedé Brasil	X	Otacílio Peixoto
32,68	144	Luciano Carneiro	X	Alm. Rufino
32,62	031	Florianô Peixoto	X	São Paulo
32,62	032	Maj. Facundo	X	São Paulo
32,62	251	Sen. Pompeu	X	Sen. Alencar
32,07	239	Pasteur	X	Pres. Castelo Branco
31,45	254	Pe. Pedro de Alencar	X	Ten. Jurandir de Alencar
31,45	262	Cel. Francisco Pereira	X	Ten. Jurandir de Alencar
31,34	128	Jorge Dummar	X	Borges de Melo
30,90	155	Cel. Matos Dourado	X	Sen. Fernandes Távora
30,47	140	José Bastos	X	Porfírio Sampaio
30,43	024	Chico Lemos	X	Oliveira Paiva
30,43	438	Manuel Monteiro	X	Oliveira Paiva
30,43	439	Mons. Antero	X	Oliveira Paiva
30,43	440	Pe. Januário Feitosa	X	Oliveira Paiva
30,43	441	Dr. José Furtado	X	Oliveira Paiva
28,98	293	Frei Mansueto	X	Ana Bilhar
28,27	477	Cel. Carvalho	X	Independência
28,21	446	Prof. Heribaldo Costa	X	Sen. Fernandes Távora

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
27,71	040	Pe. Mororó	X	Guilherme Rocha
27,60	478	Cel. Carvalho	X	Major Assis
27,39	394	Prof. Heloísa Ferreira Lima	X	Dedé Brasil
27,30	065	Alberto Nepomuceno	X	Castro e Silva
27,30	220	Oto de Alencar	X	Guilherme Rocha
27,20	111	Prof. Gomes de Matos	X	Sátiro Dias
27,20	170	Alberto Magno	X	Prof. Costa Mendes
27,20	234	Alberto Magno	X	Des. Praxedes
27,20	288	Prof. Gomes de Matos	X	André Chaves
27,20	298	Prof. Gomes de Matos	X	Prof. Costa Mendes
26,27	451	José Carlos Nogueira	X	Alberto Sá
25,58	541	Banvarth Bezerra	X	Sgt. Hermínio Sampaio
25,12	320	Godofredo Maciel	X	Francisco Glicério
25,03	432	Augusto dos Anjos	X	Aluísio Azevedo
24,99	524	Lídia Brígido	X	Oliveira Paiva
24,84	292	Frei Mansueto	X	Canuto de Aguiar
24,54	540	7 de Setembro	X	Caio Prado
23,79	534	Expedicionários	X	Raul Cabral
22,41	015	Gen. Sampaio	X	Pedro Pereira
22,14	452	Rogaciano Leite	X	José Leon
21,88	265	Washington Soares	X	Maestro Lisboa
20,78	468	A	X	H
17,94	342	Rio Grande do Sul	X	Carneiro de Mendonça
17,65	175	Oto de Alencar	X	Carneiro da Cunha
17,02	449	Mucambinho	X	Jorn. Tomás Coelho
16,96	554	Cel. Virgílio Nogueira Paz	X	Oscar Araripe
16,70	278	Cap. Aragão	X	Cap. Vasconcelos
16,70	539	Tertuliano Sales	X	Borges de Melo
16,64	476	Mozart Pinheiro Lucena	X	Independência
16,47	172	São José	X	Travessa Sobral
15,38	485	Audízio Pinheiro	X	Sen. Fernandes Távora
14,48	557	Frei Cirilo	X	Almeida Rego
14,48	561	João de Araújo Lima (Av. N)	X	C
13,72	118	Olavo Bilac	X	Sgt. Hermínio Sampaio
13,72	459	Cônego de Castro	X	Raimundo Neri
13,60	296	Manuel Jesuíno	X	Tavares Coutinho
12,76	219	Astronautas	X	Vital Brasil
12,21	364	Sen. Robert Kennedy	X	Pres. Castelo Branco
11,47	125	Astronautas	X	Emílio de Menezes
11,03	484	Tupi	X	Sen. Fernandes Távora
11,03	486	Virgílio de Moraes	X	Sen. Fernandes Távora
9,58	384	Pe. Mororó	X	Pedro Pereira

Pontuação	Semáforo	Via Norte/Sul	X	Via Leste/Oeste
9,58	430	Eretides Martins	X	Sgt. Hermínio Sampaio
8,62	011	Floriano Peixoto	X	Pedro Pereira
8,62	012	Maj. Facundo	X	Pedro Pereira
8,62	014	Sen. Pompeu	X	Pedro Pereira
8,28	393	Cel. Carvalho	X	Cons. Lafayette
8,28	479	Cel. Carvalho	X	Hermes Parahyba
7,37	523	Tulipa	X	Teodomiro de Castro
7,37	555	Maria Júlia	X	Oscar Araripe
7,32	447	Anselmo Nogueira	X	Emílio de Menezes
7,32	448	Anselmo Nogueira	X	Vital Brasil
5,44	425	Manuel Jesuíno	X	Dr. José Lino
4,14	343	A	X	Min. Albuquerque Lima
4,14	428	Rogaciano Leite	X	Pindorama
3,24	396	Lineu Machado	X	Aluísio Azevedo
3,24	487	Prof. Heribaldo Costa	X	Porto Velho
3,24	488	Vitória	X	Porto Velho
3,24	517	Lineu Machado	X	Júlio Braga
3,24	532	Cacilda Becker	X	Júlio Braga
0,00	237	Br. de Aquiraz	X	Gurgel do Amaral