

Tassni Eunice Miguel Lopes Cançado

Alocação e Despacho de Recursos para Combate à Criminalidade

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Belo Horizonte

19 de maio de 2005

Resumo

O aumento da criminalidade violenta nos centros urbanos tem sido observado ano após ano. As instituições policiais possuem enormes massas de dados digitalizadas acerca de suas atividades e dos crimes reportadas, porém os dados não são utilizados de forma a obter informações que auxiliem o combate e a prevenção de crimes. Esta dissertação define uma metodologia de tratamento e análise dos dados existentes, propondo estratégias de uso minimizado de recursos para melhor atendimento às solicitações da população.

O conhecimento das características de incidência de ocorrências, de acordo com suas naturezas, localizações e momentos de surgimento, promove o desenvolvimento de políticas de prevenção de crimes e de previsão de uso de recursos que atendam à demanda existente. Portanto, a eficiência nos atendimentos reativos leva ao aumento de recursos para as atividades preventivas e maior satisfação da comunidade com os serviços prestados pela polícia. Tais fatores proporcionam maior nível de segurança.

Esta dissertação realiza a caracterização espaço-temporal do processo de consumo de recursos dos órgãos reguladores; propõe e avalia o uso de políticas de alocação semi-compartilhada de recursos e de despacho de viaturas segundo duração e prioridades dos atendimentos. O objetivo do uso dessas estratégias é propiciar melhor utilização dos recursos policiais para combate eficiente da criminalidade. Para tanto, resulta em um conjunto de ferramentas de obtenção de conhecimento a partir dos dados de ocorrências policiais, e de auxílio às análises sociológicas dos crimes documentados.

Abstract

The increase of violent crime in the urban centers has been observed year after year. Although the police institutions possess enormous digitized masses of data concerning their activities and the reported crimes, these data are not used to get information that assist the combat and the crimes prevention. The aim of this dissertation is to define a methodology to treat and analyse such data, considering strategies to the minimized use of resources in order to answer the population's requests.

Knowing the characteristics of crime events according to their natures, localizations and moments of incidence provides the development of policies to prevent crimes and to predict the resources for all demands. The efficient use of resources during reactive service brings in better conditions to preventive action and the best answer to people's claims for security.

This research accomplishes both space and temporal characterization to know how the resources are used by the regulating agencies. This also considers and evaluates the policies for half-shared allocation of resources and dispatching of patrol cars according to the attendance duration and priorities of events. The objective of these strategies is to provide better use with the police resources to efficient combat of crime. It results in a set of tools for the attainment of knowledge from police's data and the aid of sociological analyses of the crimes.

Agradecimentos

Acredito que a presença de Deus se faz nas pessoas com quem convivemos. São elas que nos incentivam, apoiam, auxiliam e desafiam, complementando as motivações pessoais e profissionais que nos levam a realizar um trabalho, como uma dissertação de mestrado. Por essa razão, agradeço primeiramente a Deus por ter posto em minha vida pessoas tão valiosas e que foram tão importantes para a concretização deste projeto. Pouco representarão estes agradecimentos diante da gratidão que sinto por elas.

Agradeço sobretudo a minha mãe, Joani, e minhas irmãs, Tássani e Tassiani. Vocês sempre acreditaram e confiaram em mim, companheiras e amigas em todos os momentos. Obrigada pelo incentivo e apoio constantes e incondicionais, e por todos os ensinamentos de vida!

Agradeço a Jussara Marques de Almeida e Virgílio Augusto Fernandes Almeida pela orientação cuidadosa (e rigorosa) que não somente possibilitou a conclusão do curso, como me trouxe a certeza de que teríamos, ao fim, um trabalho de qualidade. Obrigada também a Wagner Meira Jr. por ter me iniciado na pesquisa científica e por ter me apresentado este projeto.

Agradeço à Polícia Militar de Minas Gerais por ter disponibilizado os dados dos boletins de ocorrências, sem os quais seria impossível realizar estes estudos. Agradeço também a todos os pesquisadores do Crisp, em especial Cláudio Beato Filho, Bráulio Figueiredo, Karina Marinho e Rodrigo Fernandes pelo suporte sociológico que forneceram ao trabalho. E por me ajudarem tanto a entender a área da Criminologia.

Agradeço aos meus “gurus” e amigos Raquel Mini, Flávia Pellegrinelli e Luiz Henrique Gomes pelos inúmeros conselhos e pela paciência de me ouvirem. Vocês foram meus orientadores extra-oficiais! Obrigada também a Dr. Caldeira, Antônio Eustáquio Araújo Silva e José de Oliveira Leite por terem iluminado meu caminho.

Agradeço aos melhores amigos que alguém pode ter: Roberta Torres, Adriana Andrade Oliveira, Adriano Machado, Benício Gontijo, Rodrigo Barra e Bruno Diniz. Muito obrigada pelo apoio, pela ajuda direta, pelas longas conversas, pelos momentos de descontração, por tudo!

Também agradeço às pessoas que colaboraram para que o projeto desse certo: Sônia Borges, Vasco Furtado, Adrian Ferreira, pessoal do GECA – Grupo de Estudos de Caracterização e Análise – Eveline Veloso e Marcelo Werneck.

Agradecimentos à Thêmis, que resistiu bravamente aos intensos experimentos, sendo a única máquina do laboratório a não sofrer problemas: missão cumprida, agora você pode descansar.

Sumário

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
1 Introdução	1
1.1 Motivação	3
1.2 Objetivo	5
1.3 Contribuições	5
1.4 Organização	6
2 Trabalhos Relacionados	7
2.1 Criminologia	7
2.2 Aplicação de Técnicas de Computação à Criminologia	10
2.3 Análise e Caracterização de Carga	12
2.4 Políticas de Alocação e Escalonamento	14
3 Domínio de Estudo	18
4 Caracterização Espaço-Temporal de Ocorrências Policiais	23
4.1 Base de Dados	24
4.2 Tratamento dos Dados	26
4.3 Classificação de Ocorrências	28
4.4 Caracterização Temporal	31
4.4.1 Análise de Ocorrências por Supergrupos	31
4.4.2 Caracterização por Grupos	34
4.5 Caracterização Espacial	39
4.5.1 Definição da unidade espacial	41
4.5.2 Metodologia e Resultados	42
4.5.3 Sumário	49
5 Políticas de Alocação de Recursos	51
5.1 Problema e Abordagem	51
5.2 Métricas de Avaliação	53
5.3 Alocação de Viaturas	54
5.3.1 Alocação Estática Homogênea	54
5.3.2 Alocação Estática Heterogênea	54
5.3.3 Alocação com Empréstimo Ilimitado	55
5.3.4 Alocação com Empréstimo Limitado	56
5.3.5 <i>Pool</i> de Recursos	57
5.4 Despacho de Viaturas	57
5.4.1 Atendimento por ordem de chegada	58
5.4.2 Atendimento por Prioridades	59
5.4.3 Atendimento Circular Ponderado em Filas de Prioridade	59
5.4.4 Atendimento por Tempo de Ocupação Previsto	61

5.4.5	Previsão de Tempo de Ocupação	63
6	Resultados Experimentais	66
6.1	Simulador	66
6.2	Métricas	70
6.3	Parâmetros e Definições	71
6.4	Alocação	72
6.5	Despacho	80
6.6	Sumário	93
7	Conclusão e Trabalhos Futuros	95
7.1	Conclusão	95
7.2	Trabalhos Futuros	97
	Bibliografia	99

Lista de Figuras

1.1	Evolução mensal de crimes violentos em Belo Horizonte - 1998 a 2003. . . .	2
1.2	Causas do crime.	4
3.1	Companhias e batalhões da PMMG em Belo Horizonte.	19
3.2	Ciclo de vida de uma ocorrência no centro de operações.	20
3.3	Modelo hierárquico de alocação e despacho de recursos.	21
4.1	Distribuição acumulada de ativação, por supergrupos.	33
4.2	Distribuição acumulada de atendimento, por supergrupos.	34
4.3	Distribuição acumulada inversa do tempo entre chegadas.	37
4.4	Distribuição acumulada inversa do tempo de ocupação.	39
4.5	Classificação de setores por crimes, segundo o número de ocorrências. . . .	45
4.6	Não concentração de roubos a transeunte para algumas unidades espaciais. .	45
4.7	Mapas de concentração de homicídios - Zipf e <i>clustering</i>	46
4.8	Mapas de concentração de roubos a transeunte - Zipf e <i>clustering</i>	47
4.9	Distribuição acumulada das porcentagens de setores vizinhos atingidos no ano consecutivo.	48
5.1	Empréstimo circular de viaturas.	56
5.2	Exemplo de atendimento por tempo de chegada FIFO.	58
5.3	Exemplo de atendimento por prioridade.	60
5.4	Exemplo de atendimento por prioridades ponderadas.	61
5.5	Exemplo de atendimento por tempo de ocupação (Ocp).	63
6.1	Modelo do simulador da central de operações.	67
6.2	34º Batalhão da Polícia Militar.	72
6.3	Comparação entre políticas de alocação.	75
6.4	Comparação entre políticas de alocação, por companhia.	76
6.5	Comparação entre políticas de alocação – 9ª CPM aumentada.	77
6.6	Comparação entre políticas de alocação, por companhia – 9ª CPM aumentada. .	78
6.7	Porcentagem de ocorrências enfileiradas – companhia 9 aumentada.	80
6.8	Impacto da reserva de recursos (parâmetro L).	80
6.9	Tempo médio de fila de acordo com o número de viaturas.	83
6.10	Percentual de erro de previsão segundo parâmetro α	84
6.11	Tempo médio de espera para carga real de 2 tipos.	85
6.12	Tempo médio de ocupação por tipo de ocorrência.	87
6.13	Tempo médio de espera para 8 tipos em carga real.	87
6.14	Porcentagem de ocorrências canceladas com aumento de carga.	89
6.15	Ocorrências canceladas por tipo, variando a carga.	90
6.16	Tempo médio de espera com aumento de carga.	91
6.17	Tempo de fila por tipo, variando a carga.	91
6.18	Ocorrências canceladas com envelhecimento de fila em prioridades.	93
6.19	Ocorrências canceladas com envelhecimento de fila em Ocp.	94

Lista de Tabelas

4.1	Resultado da limpeza da base de dados <i>LOGGEO</i>	28
4.2	Categorias de ocorrências segundo a PMMG.	29
4.3	Categorização por supergrupos.	29
4.4	Categorias de ocorrências segundo o Crisp.	30
4.5	Naturezas para caracterização espacial.	30
4.6	Naturezas e grupos para simulação de prioridades.	31
4.7	Número anual de ocorrências por supergrupo.	32
4.8	Média e mediana de tempos de ativação e atendimento.	33
4.9	Número anual de ocorrências por grupo.	35
4.10	Sumário de distribuições para tempo entre chegadas (mensal).	40
4.11	Sumário de distribuições para tempo de ocupação (mensal).	40
4.12	Concentração de crimes violentos por setores.	43
4.13	Concentração de crimes em setores atingidos (de 2000 a 2003).	44
4.14	Número de setores atingidos por crimes, anualmente.	48
6.1	Carga do experimento 1 de alocação de viaturas (oc/min, min).	74
6.2	Porcentagem de ocorrências atendidas nas companhias.	79
6.3	Parâmetros do experimento em carga real – T5 e T7.	85

Capítulo 1

Introdução

O crescimento das cidades e das populações é acompanhado pelo aumento da violência. O número de crimes cresce ano após ano, em especial aqueles considerados violentos [1]. Conter esse aumento e permitir maior qualidade de vida tornou-se uma das principais preocupações de governos e órgãos oficiais de segurança pública.

Cidades de médio e grande porte, como metrópoles, são atingidas com mais intensidade pela violência devido ao tamanho de suas populações e da área de extensão. Tais fatores dificultam a monitoração do espaço urbano e o controle dos agentes criminosos. A cidade de Belo Horizonte é um exemplo de metrópole que enfrenta dificuldades em combater e prevenir o crime. O número de ocorrências policiais registradas pela Polícia Militar de Minas Gerais na cidade é uma curva ascendente ao longo dos anos. Mais relevante é a curva que retrata a quantidade de crimes violentos relatados à polícia no mesmo período. O gráfico da figura 1.1 mostra a evolução mensal de crimes violentos (crimes contra o patrimônio e crimes contra pessoa) desde janeiro de 1998 até dezembro de 2003. Como se pode verificar, do início da série até dezembro de 2003, Belo Horizonte apresenta um crescimento contínuo do número de chamadas policiais, partindo de cerca de 1.400 ocorrências de crimes violentos em janeiro de 1998, para alcançar mais de 3.600 ocorrências em dezembro de 2003. O ano de 2001 apresenta-se *atípico* nesta série, pois se verifica, de modo excepcional, uma estabilidade das chamadas policiais. Os dois últimos anos analisados voltam a apresentar uma forte tendência de crescimento no rol de crimes violentos, alcançando o máximo de chamadas nos meses de março e maio de 2003, com 4.196 e 4.187 ocorrências mensais respectivamente.

Para tentar acompanhar o avanço das atividades criminosas, a polícia buscou equipar-se de recursos humanos e tecnológicos de forma a atender à demanda por policiamento. Além de organizarem essa estrutura complexa, que compreende atividades preventivas, atendimento a chamadas da população e investigação, os órgãos policiais viram-se confrontados com a necessidade de expandir seu contato com a população através de ações educativas,



Figura 1.1: Evolução mensal de crimes violentos em Belo Horizonte - 1998 a 2003.

de recebimento de denúncias e de atividades assistenciais. Portanto, houve o acréscimo de responsabilidades das polícias e do tipo de serviço prestado à população. Assim, a tarefa de coordenar as forças de ação tornou-se mais complexa.

A informatização dos processos da polícia apresentou-se como iniciativa visando a agilizar o atendimento e a facilitar a coordenação de seus recursos operacionais. Em oposição à enorme quantidade de papel arquivado com os boletins de ocorrência dos crimes, o armazenamento dos dados dos boletins e das chamadas efetuadas ao Disque 190,¹ em meio magnético, resultou em uma rica massa de dados, porém sem métodos definidos para tratá-la e obter informações.

Podemos considerar como informações relevantes aquelas que possam tornar maior o conhecimento acerca dos eventos, da concentração de diferentes tipos de eventos em determinados locais, da natureza deles e de outros fatores. A partir de tais conhecimentos, estratégias de planejamento e previsão podem ser adotadas com embasamento teórico, obtendo maior chance de êxito. Dadas as condições tão difíceis de trabalho e a dimensão do problema da violência urbana, utilizar de planejamento estratégico é ponto vital em qualquer instituição engajada no combate ao crime, uma vez que representa um “passo à frente” em relação às organizações criminosas. Dessa forma, a polícia e os órgãos governamentais podem de maneira cooperativa elaborar políticas sociais e operacionais que proporcionem melhores resultados no combate e prevenção ao crime.

¹O serviço de Disque 190 corresponde à central de atendimento à população oferecido pelas polícias militares brasileiras. Através de telefonemas ao Centro de Operações da Polícia Militar – COPOM – o cidadão informa crimes cometidos e solicita serviços da Polícia Militar.

1.1 Motivação

Na seção anterior, vimos que garantir segurança nos espaços urbanos mostra-se como uma tarefa desafiadora, não somente pela extensão do espaço geográfico e do número limitado de agentes reguladores, como também pela influência que fatores sociais, culturais e econômicos exercem sobre a causa de crimes, sobre a sua disseminação e sobre a forma de combate. De modo a aumentar o nível de segurança dos cidadãos, as instituições policiais e governamentais atuam em atividades preventivas, educativas, assistenciais e no pronto atendimento de solicitações de socorro, referentes a eventos criminosos acontecidos ou em andamento.

Como aumentar o nível de segurança?

Aumentar o nível de segurança representa, sobretudo, diminuir o número de ocorrências criminosas numa dada região, em especial os crimes violentos. Para atingir tal meta, é essencial que haja um empenho em atividades preventivas – atacando a causa dos crimes – e que seja utilizado o mínimo de recursos sem perda de eficácia, de forma a tornar assistida pela polícia toda a área em questão.

Como diminuir a incidência de crimes?

A abordagem da Atividade Rotineira elaborada por Cohen e Felson ([2]) parte da premissa de que a incidência ou taxa de crime nas áreas dentro de uma cidade se dá em função da convergência no espaço e no tempo de três elementos: um ofensor motivado; disponibilidade de alvos, isto é, objetos a serem roubados, ou pessoas possíveis vítimas de agressão; e a ausência de um guardião capaz de impedir o crime (figura 1.2). Os policiais em patrulha são apenas um dos possíveis guardiães, podendo ser ainda considerados outros agentes sociais que realizam vigilâncias informais. Por exemplo, a presença de adultos nas residências em tempo integral, a observação dos lugares e das pessoas por comerciantes locais etc.

Por terem uma ação direta e controlada pelo poder público, consideramos os policiais em patrulha os principais agentes repressores. Nesse contexto, pode-se imaginar por hipótese que se a polícia conseguisse equipar-se e organizar-se de forma a cobrir todas as regiões da cidade, os eventos desviantes pouco aconteceriam ou mesmo seriam extintos. Entretanto, essa é uma situação idealizada, pois não há recursos infinitos para atingir uma vasta região e acompanhar o crescimento populacional e territorial. Dessa forma, é preciso agir preventivamente na causa dos crimes, evitando que os mesmos surjam, e reagir aos que acontecem, impedindo a evolução do crime (por exemplo, agravamento de agressões culminando em homicídios) e registrando os fatos para análises posteriores. Neste contexto, as estratégias adotadas pelos órgãos policiais são divididas em duas grandes frentes, quais sejam, **atividades preventivas**, que incluem patrulhamentos rotineiros, batidas, *blitz*, recebimento de denúncias; e **atividades reativas**, correspondendo ao atendimento

de solicitações de cidadãos ou verificações de policiais dos crimes acontecidos ou em curso.

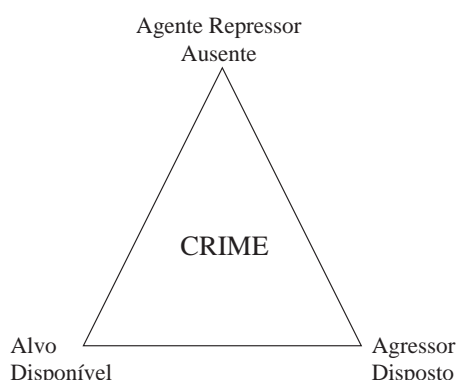


Figura 1.2: Causas do crime.

Há diversas vantagens ao realizar as atividades de combate e prevenção de crimes com o mínimo de recursos possível, especialmente as ações reativas, que estão sujeitas à imprevisibilidade dos eventos os quais demandarão atendimento. Algumas delas estão listadas abaixo:

1. Melhoria do aproveitamento dos recursos disponíveis, uma vez que o contingente dificilmente é incrementado.
2. Diminuição do número de viaturas ociosas, reduzindo o consumo de recursos públicos.
3. Diminuição do tempo de espera para atendimento das ocorrências.
4. Diminuição de não atendimentos por falta de recurso.

O terceiro e o quarto fatores listados acima implicam a satisfação do cidadão com a polícia, e por conseqüência relacionam-se com a percepção da população sobre a segurança da cidade onde vive. Isto é, se os habitantes confiam nos órgãos policiais e são prontamente atendidos em suas necessidades, a sensação de segurança sobre esse local, disseminada em toda a população, tende a torná-lo menos “interessante” para o agente agressor.

Uma vez que a qualidade do serviço da polícia é essencial para que as pessoas se sintam seguras, é preciso definir métricas para avaliar o desempenho da mesma, identificar pontos de falha ou contenção e contorná-los. Apesar de dispor de dados coletados pela documentação em meio eletrônico dos boletins de ocorrências e das chamadas originadas ao COPOM, e mesmo sendo de suma importância o conhecimento que esses dados podem trazer à organização policial, não há meios definidos de tratá-los e manipulá-los de modo a suportar e indicar estratégias de ação que favoreçam o combate e a prevenção ao crime, e como conseqüência, a diminuição da violências nos centros urbanos. Atualmente, a Polícia Militar de Minas Gerais sumariza os dados de incidência de crimes em todo o Estado através

de anuários de publicação interna, utilizando métodos não automatizados e sistematizados. Apesar de volumosos, os anuários não extraem informações que possam indicar problemas e possíveis soluções aplicáveis, por exemplo, nas operações e planejamentos no decorrer de um ano. A falta de informações de uso prático – informações que caracterizem a incidência das ocorrências e a atuação da polícia em resposta a elas – impede ações imediatas e análises de situações de aumentos e quedas de tipos de crimes em regiões da cidade. Ou seja, restringe sobretudo o planejamento estratégico da corporação.

1.2 Objetivo

O principal objetivo desta dissertação de mestrado é aplicar técnicas computacionais para modelagem e tratamento de sistemas sociais associados a estudos da Criminologia, em especial para aqueles de atendimentos **reativos** da Polícia Militar. Tais sistemas sociais são críticos e não controlados, além de envolverem muitas variáveis de interferência, como localidade, condições sócio-econômicas, culturais e políticas.

Iremos aplicar Tecnologia de Informação para o tratamento do problema, caracterizando temporal e espacialmente as ocorrências policiais (sejam de crimes ou de operações preventivas); e verificando o tempo de espera em fila e o número de cancelamentos de ocorrências pelo sistema de atendimentos, de acordo com condições reais e sintéticas de carga (incidência de ocorrências) e políticas alternativas propostas para alocação e despacho de recursos.

Esse trabalho apresentará métodos de análise dos dados, informações extraídas destas análises, e uma ferramenta de apoio ao estudo de diferentes cenários de alocação de recursos e incidências de crimes, e de auxílio ao planejamento e à previsão de situações críticas do sistema de atendimento da polícia.

1.3 Contribuições

O trabalho que aqui se apresenta é inovador na medida em que estabelece uma forma de análise de boletins de ocorrência, de obtenção de informações e de proposição de estratégias de ação aplicadas à área de Criminologia, baseada em técnicas de Tecnologia de Informação amplamente aplicadas em sistemas computacionais. A partir das duas principais frentes de estudo, quais sejam Caracterização de Cargas e Simulação de técnicas de alocação espacial e despacho de viaturas, as contribuições fundamentais da dissertação são:

- Entendimento das características dos tipos de ocorrências policiais de acordo com a localização geográfica e suas naturezas.

- Conhecimento das distribuições estatísticas dos aspectos que envolvem a origem e o atendimento de ocorrências policiais – tempo entre chegadas de ocorrências e tempo de alocação de recursos, aplicando-o em simulações de carga sintética.
- Caracterização de níveis de concentração de ocorrências no espaço geográfico estudado a partir da aplicação da Lei de Zipf [3], como forma complementar às técnicas de identificação de zonas quentes ou *Hot Spots*.
- Criação de ferramentas para análise de dados coletados de boletins de ocorrência e para simulação de políticas de alocação e despacho de recursos em cenários hipotéticos.
- Proposição de políticas de despacho e alocação de recursos para atendimento de ocorrências de forma a melhor utilizar os recursos disponíveis e servir à população.
- Criação de uma metodologia baseada em TI para análise e modelagem de alocação e despacho de recursos para combate à criminalidade.

1.4 Organização

Esta tese está dividida em sete capítulos. O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura relacionada ao tema de pesquisa, tanto em relação aos estudos em Criminologia, quanto aos trabalhos de aplicação da Ciência da Computação a ela. O capítulo 3 define o domínio de estudo, descrevendo o sistema de atendimentos de chamados da Polícia Militar e os elementos que o constituem, como as ocorrências, companhias de polícia, dentre outros. Em especial, são relacionados no capítulo 2 os trabalhos que constituíram base para a caracterização de carga descrita no capítulo 4, e para a proposição das políticas de alocação e despacho de viaturas para atendimento de ocorrências apresentadas no capítulo 5. O capítulo 6 descreve o modelo do simulador construído a partir da caracterização de carga e que implementa as políticas propostas. Esse capítulo ainda mostra os principais resultados obtidos a partir da simulação de diversos cenários estudados e a comparação das políticas definidas. O capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho e sugere direções para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresentará alguns trabalhos relacionados com a dissertação. Por ser um tema multidisciplinar, abordaremos trabalhos oriundos da Sociologia (seção 2.1), da Ciência da Computação (seções 2.3 e 2.4) e provenientes da interação entre as duas ciências (seção 2.2). Apesar de não termos conhecimento de trabalhos que realizem caracterizações de carga e simulações de ocorrências policiais, as seções que se seguem discutirão a base teórica que sustentou a metodologia aplicada e as políticas de alocação e despacho de recursos propostas.

2.1 Criminologia

Segundo Adorno [1], os estudos brasileiros sobre criminalidade são classificados de acordo com os temas abordados:

- Movimento da criminalidade: tais estudos procuram saber num intervalo de tempo quais ocorrências policiais cresceram ou retraíram, e identificar possíveis causas ou fatores explicativos[4, 5, 6, 7, 8]. Buscam ainda a correspondência entre a percepção coletiva do aumento da criminalidade e a ocorrência de crimes[9].
- Análise do senso comum do perfil social dos autores de delitos: indicam que os delinquentes são preferencialmente recrutados entre grupos de trabalhadores urbanos de baixa renda[10, 4, 11, 12]. Entretanto, não há qualquer relação com crença, raça ou etnia. Quanto à carreira, os delinquentes preferem cometer crimes contra o patrimônio, principalmente por terem, na maioria, condenações com penas médias.
- Organização social do crime sob a perspectiva do delincente: tais estudos [13, 14, 9, 15] apontam que as organizações criminosas aproximam-se cada vez mais de um modelo empresarial. As organizações caracterizam-se pela presença de mulheres e,

em especial naquelas ligadas ao tráfico, pela entrada de jovens e a valorização deles quanto à posse de armas e controle de bocas de fumo, que representam símbolos de poder.

- Avaliação de políticas públicas penais: [16, 17, 18, 19, 20] apresentam o caráter precário dos mecanismos de inspeção, generalização de um modelo patrimonial de organização e a fragilidade das linhas de articulação entre a estrutura formal e as atividades formais. Em geral, as análises concluem que a desarticulação e a ineficácia das políticas públicas penais adotadas na atualidade refletem a incapacidade e a incompetência do poder público para gerenciar amplas massas carcerárias.

Acerca do movimento da criminalidade, Adorno observa que há uma tendência no aumento da criminalidade violenta e organizada, em especial nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. O aumento relativo das taxas de criminalidade urbana violenta poderia estar relacionado não somente ao incremento de novos delinqüentes, mas também ao aumento do número daqueles que se especializam e constroem carreiras delinqüentes, evidenciado pelo aumento da reincidência criminal.

Além do conhecimento de que a evolução do número de crimes é uma realidade nos grandes centros urbanos [21, 22], a concentração de crimes ao redor de algumas poucas pessoas e lugares é um dos princípios criminológicos mais bem estabelecidos. Surgiu em artigo clássico a respeito da concentração espacial de crimes em ambientes urbanos [23, 24], bem como a partir da análise de carreiras criminosas [25, 26]. São resultados que contrariam a percepção de senso comum segundo a qual crimes encontram-se distribuídos aleatoriamente no tempo e no espaço, e criminosos atuam com um mesmo grau de motivação e de forma igual em todos os locais e grupos sociais. Ou seja, existem locais nos espaços urbanos que concentram grande número de crimes, chamados de **zonas quentes** ou *hot spots*.

Sherman et al. [23] analisaram *hot spots* de crimes violentos numa metrópole dos EUA a partir de registros de cerca de 320 mil chamadas policiais do período de um ano. Eles contabilizaram a porcentagem acumulada de chamadas referentes à porcentagem acumulada dos locais que as originaram. Suas análises revelam concentrações substanciais de chamadas policiais, especialmente chamadas de crimes violentos (*predatory crime*) em poucos *hot spots*. Os dados mostram que pouco mais da metade das ocorrências policiais tinha origem em apenas 3,3% de todos os endereços. O método utilizado por Sherman para determinar os *hot spots* assemelha-se ao proposto nesta dissertação, a partir da aplicação da Lei de Zipf, porém lá não há a quantificação do grau de concentração que Zipf proporciona. Além disso, ampliamos a análise do espaço geográfico pelo agrupamento das localidades vizinhas atingidas pelo mesmo tipo de crime, facilitando a visualização dos *hot spots* em mapas.

Um outro meio de identificação dos *hot spots* é a utilização do método de Kernel [27, 28]. Através de interpolação, ele permite estimar a densidade de pontos pela suavização de

densidade. Os *kernels* são colocados sobre cada ponto, a partir de uma malha de células que cobre o espaço analisado. A interpolação pelo método de Kernel foi desenvolvida no final dos anos 50 como um método alternativo de estimação de densidade de um histograma, uma vez que este último apresentava problemas estatísticos críticos: informação perdida pela atribuição de um valor médio a um intervalo de pontos medidos (*bin*); descontinuidade e não suavização dos pontos interligados (mesmo que a função fosse assumida suave). Para resolver esses problemas, o método de Kernel atribui a todos os pontos considerados uma **função de kernel**, ao invés de blocos (*bins*), e soma as funções para cada localidade na escala. Muito usualmente a função utilizada é uma distribuição normal. A distribuição usada é então estimada pela soma das funções individuais de kernel de todas as localidades para produzir uma função de densidade cumulativa suavizada. As funções são somadas em cada ponto ao longo da escala e não apenas nos pontos da localidade. O resultado pode ser apresentado através de mapas (inclusive em três dimensões) que indicam as áreas de concentração e a diminuição gradual das intensidades no espaço.

Por fim, em [29] são apontados temas em aberto para pesquisa, sobre os quais há evidências, porém nenhum estudo conclusivo. Nesse trabalho, são lançadas perguntas sobre a forma de ação de órgãos policiais, sobre a utilização dos recursos disponíveis e das possíveis estratégias de combate à criminalidade:

- Seria o policiamento ostensivo realmente eficaz na diminuição das taxas de criminalidade?
- A participação da comunidade no planejamento das atividades da polícia deve ser incentivada?
- A escolha de locais de alta incidência como alvos preferenciais de políticas públicas diminui essa incidência, ou apenas a transfere para outros locais?
- Mais investimento material redundam em menos violência?
- Viaturas mais bem equipadas e com mais policiais são mais eficazes?
- Investimentos em tecnologias de comunicação provocam algum efeito?
- As atividades policiais devem ser centralizadas ou descentralizadas?

Os quatro últimos itens acima listados estão relacionados com o propósito desta tese, uma vez que ela analisa as concentrações de crimes em localidades dentro do espaço urbano, e por avaliar políticas de alocação espacial de recursos (atribuição centralizada, descentralizada ou mista) e de escalonamento de ocorrências que proporcionem maior eficiência da

polícia no uso de tais recursos. São resultados que apontam caminhos para atingir menores tempos de espera de cidadãos por atendimento e menor número de cancelamentos de ocorrências, utilizando um conjunto de técnicas de TI e um mesmo número de recursos.

Com o objetivo de melhorar a estrutura de operação das instituições policiais, bem como permitir facilidades de manipulação e análise de dados obtidos de suas ações, surgem trabalhos que se utilizam de Tecnologia da Informação. A seguir, veremos alguns deles.

2.2 Aplicação de Técnicas de Computação à Criminologia

Órgãos oficiais ligados ao combate à violência têm utilizado bancos de dados e sistemas de informações geográficas (chamados *GIS*) para armazenar registros de eventos e especialmente apoiar suas análises. No entanto, mesmo nos departamentos mais desenvolvidos tecnologicamente, analistas percorrem manualmente os dados, associam registros e criam gráficos com os resultados, o que ajuda efetivamente a prevenir o crime, mas consome muito tempo. Desta forma, há um grande empenho da comunidade científica em projetar e implementar sistemas que realizem parte do trabalho mais exaustivo e de maior custo em tempo se feito tradicionalmente. Assim, podemos destacar alguns trabalhos que descrevem projetos e ferramentas de armazenamento e compartilhamento de dados, e realizam análises (inclusive espaciais). O sistema ReCAP [30] é uma aplicação desenvolvida para ajudar polícias regionais na análise e prevenção de crimes. Ele permite, a partir de dados de incidentes reportados à polícia ¹, identificar zonas quentes (*hot spots*) de uma região, realizar consultas geográficas, plotar gráficos para controle de crimes e em janelas de tempo definidas, agrupar crimes por áreas, dentre outras. Para isso, são usadas técnicas de fusão e mineração de dados para integrar diferentes origens e formatos, e encontrar padrões em grandes bases de dados, respectivamente.

Trabalho semelhante foi desenvolvido pelo Laboratório Leste, do Departamento de Estatística da UFMG, o **Terra Crime** [31]. A partir desse programa, é possível realizar análises de dados demográficos de criminalidade, identificando *hot spots* pelo método de Kernel. O Terra Crime também faz estatísticas duais que correlacionam as informações das incidências geográficas dos crimes com outras características sociais, como relação com a população, faixas etárias, níveis sócio-econômicos.

Outro trabalho da Universidade de Virgínia propõe um modelo de predição com uso de multi-agentes [32], em que são criados conjuntos de agentes de acordo com perfis pre-

¹Registros de incidentes correspondem aos chamados “Boletins de Ocorrência” coletados pela Polícia Militar de cada Estado brasileiro. Não há, usualmente, informações sobre investigações ou conseqüências dos crimes, como prisões.

viamente definidos. Agentes são elementos que incorporam características dos diversos elementos que compõem um sistema, tais como cidadãos, criminosos, policiais, ruas, estabelecimentos comerciais etc. Todo agente possui quatro propriedades: autonomia, reatividade, habilidade social e pró-atividade. Como eles são capazes de reagir de forma autônoma a estímulos do sistema e dos outros agentes, é possível obter modelos de predição a partir de simulações e técnicas de jogos. Para tanto, o sistema é posto em modo de aprendizagem, ajustando seu modelo inicial a partir da confrontação com dados históricos. Os modelos gerados podem, pois, auxiliar no controle das taxas de violência.

Também utilizando modelagem de agentes, [33] apresenta uma ferramenta educacional – *ExpertCop*, cujo objetivo é o treinamento de oficiais de polícia que atuam no policiamento preventivo. Assim, são criadas comunidades de agentes com perfil policial, perfil criminoso (e níveis de experiência de cada agressor) e alvos. Para as simulações, são fornecidos o número de agentes de cada perfil, as rotas de policiamento dos agentes policiais e os alvos disponíveis. Os policiais em treinamento são, assim, impelidos a identificar os problemas de aumentos de ocorrências em determinados lugares, e a propor mudanças nas rotas de patrulha para controlar as incidências.

Uma maneira de apoiar os departamentos policiais consiste em buscar estabelecer possíveis ligações entre dados já cadastrados que ajudem na investigação de um certo crime. O projeto COPLINK [34] realiza dois trabalhos importantes: viabiliza o cadastro e a recuperação de dados dos incidentes de forma fácil para oficiais de delegacias; e indica ligações entre elementos cadastrados que ajudem em investigações. O primeiro componente, COPLINK Connect, permite a inserção de dados sobre um determinado evento e consultas básicas ao banco de dados através de um sistema gráfico acessível por um navegador *web*. Seu principal foco é ser um instrumento de uso simples para ser operado por não-especialistas, porém com condições básicas de consulta e cadastro de informações. Já o módulo COPLINK Detect foi projetado para ser usado por detetives e analistas criminais. Através de uma técnica chamada *Concept Space*, ele identifica associações dos vários aspectos de um crime com dados existentes de outros, com base em critérios estatísticos e funções de agrupamento que avaliam cada associação entre elementos de forma ponderada. É possível, portanto, identificar ligações entre objetos existentes, utilizando informações geográficas. No entanto, nenhum dos módulos é capaz de realizar predições ou visualizar aspectos geográficos das ligações feitas (ou seja, não há visualização por mapas).

Esta dissertação difere dos trabalhos citados por apresentar uma caracterização espaço-temporal detalhada das ocorrências policiais registradas e utilizar os resultados obtidos na construção de uma ferramenta de simulação. A partir do simulador, definimos políticas de alocação e despacho que podem ser comparadas com o intuito de destacar aquela(s) que mais se aplica(m) ao contexto e que atende(m) aos objetivos da Polícia Militar. Não se trata, portanto, de ambientes para coletar os dados dos boletins, ou de inferência de

correlação entre agentes envolvidos nos crimes (investigação), mas sim de análise de eventos registrados e de proposição de esquemas de consumo de recurso eficiente.

2.3 Análise e Caracterização de Carga

Caracterizações de cargas de trabalho de sistemas computacionais são amplamente estudados com o intuito de obter conhecimento profundo das interações de tais sistemas com seus usuários, dos problemas que podem enfrentar e de possíveis soluções. Tais soluções são muitas vezes verificadas através de experimentos nas aplicações, ou através de simulações com cargas sintéticas geradas a partir dos resultados da caracterização. Portanto, os objetivos de caracterizar cargas de trabalho consistem em identificar aspectos dos dados de maior relevância para a pesquisa desenvolvida; determinar períodos de análise dos dados; e identificar as distribuições estatísticas e seus parâmetros que melhor modelam a base existente.

Em Ciência da Computação, existem inúmeros estudos sobre caracterizações de cargas, dos quais apresentaremos aqueles que contribuíram para a elaboração desta etapa nesta dissertação.

Em [35] apresenta-se uma caracterização de carga de servidores de comércio eletrônico. Nesse artigo, os autores mostram uma metodologia hierarquizada que utiliza as camadas de usuário (sessões de interação), aplicação (funções providas pelo servidor) e protocolo (requisições HTTP), caracterizadas em diversas escalas de tempo. Dessa forma, são identificadas distribuições que regem as chegadas de requisições, o caminhar existente entre as funções disponibilizadas pelos servidores, e o tamanho das sessões dos usuários². Tais informações são utilizadas para definir comportamentos típicos de usuários de sítios de comércio eletrônico, inclusive identificando aqueles que não retratam comportamento humano. A caracterização mostrada foi capaz, dessa forma, de identificar robôs a partir do padrão de acesso e solicitação de páginas que um certo grupo de sessões apresentava. No trabalho são ainda apresentados resultados práticos da aplicação da metodologia de caracterização no estudo de caso para dois tipos de sítios de comércio eletrônico distintos: uma livraria virtual e um sítio de leilão eletrônico. Em ambos os casos, foi constatado que a popularidade dos termos de busca submetidos aos servidores segue a Lei de Zipf[3], porém condicionada a intervalos de tempo, o que indica a “troca de posições” dos termos mais populares de tempos em tempos. A mesma estratégia de divisão hierárquica da caracterização, estratégia também adotada nesta dissertação.

Resultado que aponta o interesse dos usuários de conteúdo de mídia contínua ao vivo na Internet como seguindo Zipf (aproximado) é mostrado em [36]. Nesse estudo, são carac-

²Uma sessão corresponde ao conjunto de requisições enviadas por um usuário durante uma interação com o sistema.

terizados, também de forma hierárquica, os acessos de usuários a um sítio que disponibilizava conteúdo de mídia contínua ao vivo. Novamente, foram analisados os tempos entre chegadas de conexões, de sessões de usuários³ e de novos usuários aderindo ao conteúdo apresentado. Por significar um volume de transferência de dados ordens de grandeza maior que de requisições HTTP usuais, e cujo tempo de transferência representa consumo de recursos de banda de transferência e processamento do servidor, os tempos de duração de requisições únicas e de sessões inteiras é de extrema importância para conhecimento do sistema. Além disso, a característica dos objetos (transmitidos ao vivo) estabelece uma nova relação entre conteúdo apresentado e usuário, pois este pode aceitar más condições visualização de acordo com a importância e a atratividade que o objeto possui (lembrando que o mesmo não poderá ser visto em momento posterior). O estudo apresenta a caracterização estatística, incluindo a correlação temporal dos acessos, indicando formas de geração de carga sintética a partir de tais informações, aplicadas diretamente na construção de um simulador, chamado GISMO.

Relacionado à distribuição de mídia contínua pré-armazenada, [37] analisa cargas de trabalho de mídias educacionais de duas universidades norte-americanas. O trabalho apresenta informações para geração de cargas sintéticas, direções sobre organização de redes de distribuição de conteúdo de mídia contínua de melhor desempenho, bem como formas que permitem que a largura de banda de ambientes de interação educacional seja resguardada pelo uso técnicas de compartilhamento de fluxo para transmissão de conteúdo pré-armazenado. É importante destacar que neste estudo foram realizadas caracterizações temporais sobre intervalos de tempos dos registros de modo a estabelecer períodos cujas distribuições que descreviam o sistema fossem aproximadamente estacionárias. Esse método evita a agregação demasiada dos dados, cuja principal consequência é não capturar variações das distribuições estatísticas do modelo. Assim, a caracterização de dados agregados identifica uma distribuição média, que não ocorre na prática[38]. A mesma preocupação, de identificar pequenos intervalos de análise para evitar agregação de dados, foi tomada durante o processo de caracterização das ocorrências policiais apresentado nesta dissertação.

Outro trabalho de grande importância para a área de caracterização de carga está em [39]. Nele são apresentadas as caracterizações de arquivos de registros de tráfego de rede *wide-area*. Nesse trabalho, foram analisados processos de chegadas de conexões e pacotes TCP, de modo a determinar o erro produzido ao modelá-los como sendo de Poisson, distribuição usualmente utilizada para descrever os processos. Os resultados demonstram que os tempos entre chegadas de pacotes TCP são exponencialmente distribuídos apenas quando há interação humana (como início de sessões telnet, de envio de comandos FTP).

³Neste caso, a sessão se caracteriza pelo período de transferência de conteúdo entre usuário e servidor, mesmo com interrupções (desde que não ultrapassem limiar pré-definido).

Ao considerar exponenciais as distribuições de chegadas de outros processos, como de transferência de pacotes dos arquivos FTP, de requisições SMTP, onde não há interação humana, Paxson mostra que esta simplificação comum em outros estudos subestimam as rajadas, muito presentes nas transferências de pacotes por redes de computadores. O erro não é desprezível e restringe a aplicabilidade dos resultados os quais o desconsidere.

Outra forma de se identificar concentrações é através da aplicação do princípio de Pareto, também conhecido como regra de 80 por 20. Aqui, assume-se que para muitos fenômenos 80% de suas conseqüências têm apenas 20% de causas. Em seu estudo clássico, Pareto demonstrou que 20% da população mundial apropriavam de 80% da riqueza [40]. Essa distribuição foi também identificada por George Kingsley Zipf da Universidade de Harvard, ao observar a freqüência com que as pessoas usavam as palavras disponíveis no vocabulário [3]. Seus estudos mostraram que na língua inglesa existem aproximadamente 1.000 palavras usadas com extrema freqüência, e que a partir da milésima palavra a freqüência cai rapidamente [3]. Na natureza, encontram-se diversas situações em que os fenômenos seguem a Lei de Zipf, ou que apresentam a mesma tendência (*Zipf-like*), como saúde da população no período pré-moderno, tamanho das cidades[41], *sites* acessados na Internet [42], popularidade de objetos web [43, 42], objetos em redes par-a-par [44], objetos de mídia contínua [37, 38, 36].

2.4 Políticas de Alocação e Escalonamento

Existem inúmeros estudos computacionais que tratam do uso de recursos e da execução de tarefas. Para a modelagem do sistema e para a proposição de políticas de uso de recursos policiais, tomamos por base os trabalhos relacionados à alocação de canais em redes de telecomunicação sem fio – aplicadas no contexto desta dissertação na alocação de viaturas espacialmente – e estudos associados ao escalonamento de processos em sistemas operacionais e de pacotes para transmissão em redes de computadores – aplicados para despacho de viaturas em atendimento de ocorrências.

No artigo [45], Katzela e Naghshineh constroem um *survey* das principais técnicas de alocação de canais de freqüência em Estações Rádio Base (ERBs) de redes celulares sem fio. A alocação de canais consiste em distribuir entre as ERBs o conjunto de canais disponíveis no sistema, sempre observando os níveis de interferência e distância de reuso (restrição de freqüências que se sobrepõem). O custo do serviço está diretamente vinculado ao número de ERBs instaladas. Portanto, uma redução nesse número implica em redução de custos. Entretanto este objetivo somente será atendido com uma exploração eficiente do espectro de freqüências.

Como normalmente as Estações Rádio Base são distribuídas por grandes extensões territoriais, elas formam células de cobertura que atendem uma certa região. A divisão de

recursos e a disposição geográfica das ERBs se assemelha bastante com o problema dos atendimentos da Polícia Militar. Se um usuário está situado em uma determinada célula formada por uma ERB, e se esse usuário solicita um canal de comunicação (por exemplo, para efetuar uma chamada de seu telefone celular), a ERB deve disponibilizar um de seus canais. Porém, há restrições intrínsecas ao sistema de comunicação celular que não estão presentes no atendimento de ocorrências policiais: a) um usuário de rede celular pode se movimentar e ultrapassar os limites da célula na qual iniciou a chamada; b) por vezes, mesmo tendo canais disponíveis em células vizinhas, uma ERB não pode utilizar canais cuja frequência interfira nos demais canais alocados.

As estratégias de alocação de canais utilizadas são divididas em [45] nas seguintes categorias:

- Algoritmos de Alocação Fixa (*FCA*): um número fixo de canais é alocado a cada ERB. Esta estratégia é bastante simples, mas não leva em consideração o tráfego e a mobilidade dos usuários.
- Algoritmos de Alocação Dinâmica (*DCA*): os canais ficam armazenados em um *pool* central e são distribuídos conforme demanda em cada área de abrangência de uma ERB. Nesse contexto ganha-se em flexibilidade, mas pode-se perder em complexidade. Em redes com alto tráfego, as estratégias dinâmicas tornam-se ineficientes e perdem espaço para a alocação fixa.
- Algoritmos de Alocação Híbrida (*HCA*): procuram explorar um mínimo de canais fixos e um subconjunto dinâmico.

Para os algoritmos de alocação fixa, [45] apresenta estratégias de alocação diferenciada de canais de acordo com a demanda das regiões, demanda esta previamente identificada. As variações da demanda são solucionadas pelo empréstimo de canais de frequência entre células vizinhas, sendo ainda necessário utilizar métodos para escolha do canal e da célula cedente mais adequada, de forma a não provocar bloqueio de canais futuros.

Como a disposição física de viaturas e de policiais, e o deslocamento por ruas de uma cidade são tarefas custosas e que devem ser usadas com cautela, os esquemas de alocação dinâmica são pouco aplicáveis ao contexto de atendimento de ocorrências.

Além dos estudos sobre alocação de canais, que correspondem à alocação espacial de recursos, existem também trabalhos que descrevem formas de escalonamento de processos e de utilização de meio de comunicação na transmissão de pacotes por uma rede de computadores. As políticas de escalonamento corresponderiam às políticas de despacho de recursos, adotando a abstração de ocorrências como processos a serem executados ou pacotes a serem transmitidos.

Tradicionalmente, políticas de escalonamento por ordem de chegada, chamados de *first-come, first-served*, por prioridades e por duração são utilizadas em sistemas de escalonamento de processos em sistemas operacionais [46, 47]. No primeiro caso, os processos têm a posse do processador na ordem em que são remetidos ao sistema. Caso haja diferentes prioridades entre os processos, é ainda possível escaloná-los por classe de prioridade, ou seja, o processador serve todos os processos prioritários, só passando para a classe subsequente quando não houver mais processos da primeira. Mesmo atendendo à restrição de priorizar certas classes de processos, este esquema não garante que classes menos prioritárias sejam atendidas em algum momento, além de poder tornar o tempo de espera médio maior que no uso de filas simples.

Outra forma de escalonar processos está em ordená-los para atendimento de acordo como o tempo que ocuparão o processador (*shortest job first - SJF*). Esta política de escalonamento otimiza o tempo médio de espera em fila, mas também não previne inanição dos processos “demorados” ou “grandes”. Ainda é de difícil implementação, pois muitas vezes a informação do tempo de execução é desconhecido, sendo preciso adotar algoritmos de previsão para determinar tal duração.

Em [48, 49, 50, 51], uma série de estudos sobre escalonamento de tarefas (*jobs*), submetidos para execução não interativa, apresenta resultados da aplicação de SJF em sistemas de produção. Esses processos são cadastrados por usuários do sistema para execução agendada e não são interrompidos durante sua execução. No cadastro da tarefa, é solicitado ao usuário o tempo estimado de execução de seu processo. Caso o tempo de execução real seja maior que o indicado, o processo é encerrado no tempo informado pelo usuário. Caso contrário, o sistema pode permanecer ocioso até a próxima tarefa (agendada para o final da execução atual), ou pode ser realimentado pela política de *backfill*, que tenta preencher o tempo de ociosidade com outras execuções, ou adiantando a próxima tarefa agendada. Os artigos demonstram que o uso de SJF para escalonamento dos processos é bastante beneficiada pela estimação acurada da duração dos processos por seus proprietários.

Em adição, Su-Hui define políticas de envelhecimento que evitam que processos cuja estimação seja de longa duração tenham esta estimação descontada pelo tempo de espera na fila[48]. Com isso, tenta-se evitar a inanição dos processos com essa característica.

A transmissão de pacotes em uma rede também deve obedecer alguma ordem de envio. O meio físico fica disponível para cada processo transmitir seus pacotes por um período definido de tempo. As mesmas políticas de escalonamento de processos em *FCFS* e filas de prioridades podem ser utilizados para este fim⁴ [52]. Em [53, 54], uma política de escalonamento de pacotes é descrita de forma a garantir o mínimo de tempo de acesso ao meio de transmissão para classes de pacotes prioritários, sem contudo causar a inanição das

⁴SJF não se aplica ao contexto mencionado, uma vez que os pacotes são muitas vezes do mesmo tamanho.

demais. Atende, dessa forma, a requisitos de qualidade de serviço e é chamada de *Weighted Fair Queued*. Outra vantagem é definir prioridades e evitar inanição sem necessidade de uso de políticas de envelhecimento. Isso porque são definidas filas para cada classe de prioridade existente. Cada fila é atendida por um tempo proporcional à sua prioridade, de forma circular.

Capítulo 3

Domínio de Estudo

O primeiro passo para obtenção do conhecimento profundo do sistema de atendimentos de ocorrências da Polícia Militar consiste em caracterizar os dados existentes. Para tanto, é preciso antes modelar o sistema, definindo os elementos que o compõem e a interação entre eles. Este capítulo tem por objetivo definir estes elementos, descrever a forma de atuação da polícia e os processos envolvidos em suas ações. De posse dessas informações, será possível identificar como são consumidos os recursos policiais destinados às ações preventivas e, em especial, as reativas.

Os três principais elementos são os eventos que necessitam de atendimento da polícia – as ocorrências –, os órgãos responsáveis pelo atendimento e os recursos utilizados. A Polícia Militar de Minas Gerais possui uma divisão hierárquica de atuação na cidade de Belo Horizonte. Nessa divisão, as grandes regiões da cidade são atribuídas a batalhões e cada um deles é novamente subdividido em companhias. A divisão de batalhões e companhias pode ser vista na figura 3.1. As companhias são os órgãos que possuem recursos para atendimento das ocorrências (viaturas, motocicletas e policiais) e atuam de acordo com jurisdição definida dentro do batalhão ao qual pertence. Assim, exceto em casos extremos, toda ocorrência originada numa dada região deve ser atendida pela companhia por ela responsável¹.

As ocorrências policiais compreendem uma gama extensa de eventos, incluindo crimes violentos, pequenos delitos, atividades rotineiras da polícia, acompanhamento de acidentes de trânsito e atividades assistenciais. A notificação das ocorrências se dá principalmente de duas formas: pela iniciativa de policiais em serviço, ou por iniciativa de cidadãos comuns, externos à polícia, que solicitam atendimento através do Disque 190. No segundo caso, o procedimento de atendimento da solicitação é mostrado na figura 3.2[55]. Inicialmente, o

¹Existe uma companhia da PM, a ROTAM, que não atua em limites fixos territoriais e que apoia as demais companhias em atendimentos de maior gravidade. Para simplificação e viabilidade das análises, desconsideramos a atuação da ROTAM.

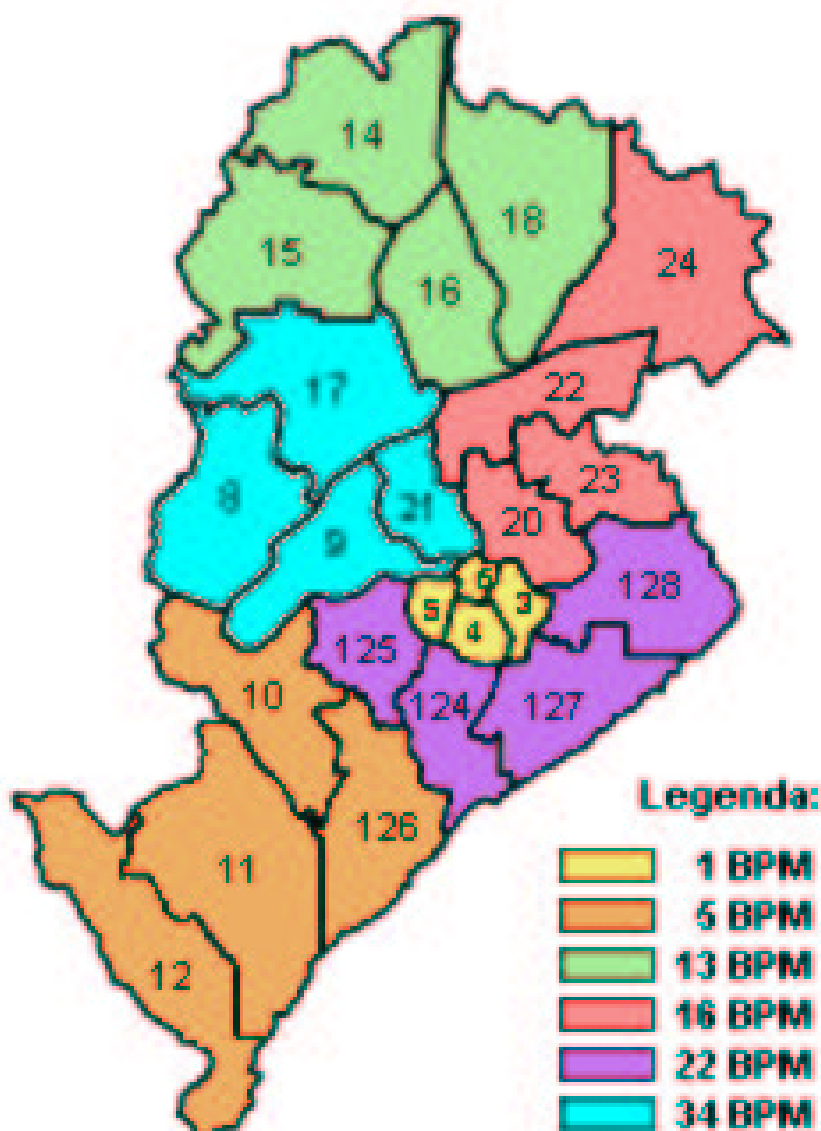


Figura 3.1: Companhias e batalhões da PMMG em Belo Horizonte.

cidadão entra em contato com o centro de operações militares – o COPOM – pelo telefone 190 (primeiro marco). A chamada é recebida pela equipe de atendentes que anota os principais dados acerca do evento informado e, conforme julgada a veracidade do fato e a gravidade do mesmo, repassa o chamado à equipe de operação. A partir desse momento, um despachante identifica a companhia responsável pela área em que o evento se localiza e verifica a disponibilidade de viaturas dessa companhia. Se houver uma ou mais viaturas ociosas no momento, uma é escolhida para atender a solicitação (segundo marco). Caso contrário, o chamado é posto em uma fila de espera, na qual deverá aguardar até que uma viatura seja liberada para servi-lo. Sendo alocada para atender a ocorrência, a viatura é contactada e desloca-se para o local do evento. Após a chegada ao local (terceiro marco), os policiais efetuam o atendimento em si, tornando-se novamente disponível ao final deste

(quarto marco). Não está no escopo deste trabalho definir a maneira como as viaturas são escolhidas para o atendimento, especialmente por não haver nas bases disponibilizadas informação quanto ao número de viaturas disponíveis no momento da escolha e suas localizações no espaço territorial da cidade.

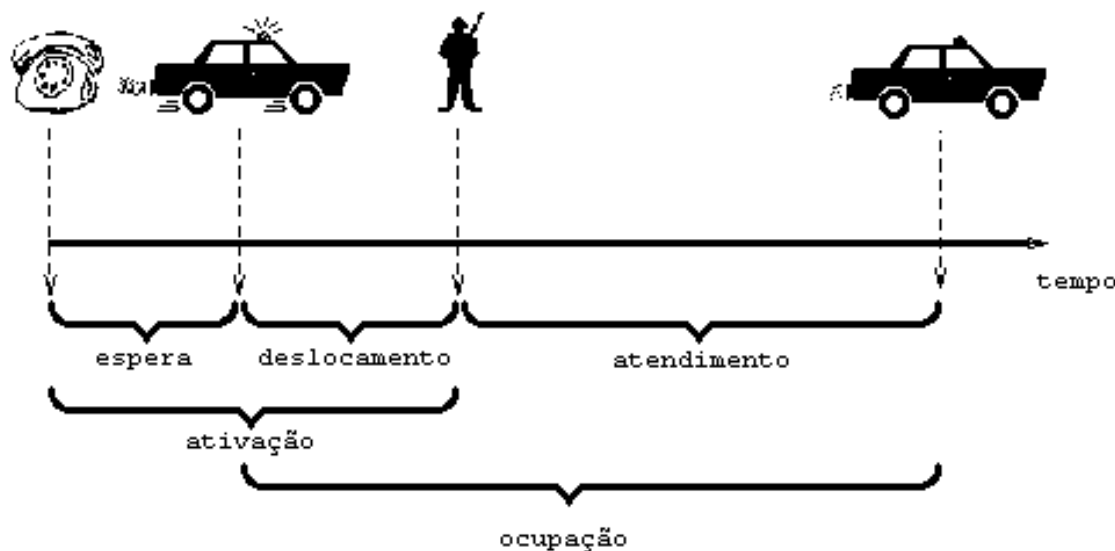


Figura 3.2: Ciclo de vida de uma ocorrência no centro de operações.

Em ocorrências cuja origem de registro são de policiais em serviço, ou ocorrências programadas pela polícia (policiamento preventivo), o tempo decorrido entre o primeiro e terceiro marco podem ser bastante reduzidos ou mesmo nulos, por não haver o tempo de espera entre o início do evento e a resposta da polícia.

Na figura 3.2, são destacados 5 intervalos de tempo, os quais serão amplamente utilizados neste trabalho. Os tempos de ativação – entre o recebimento da chamada e a chegada dos policiais ao local determinado – e de atendimento – entre a chegada ao local e o encerramento da atividade² – retratam a visão do cidadão a respeito do serviço prestado pela polícia. Desta forma, quanto menor o tempo de ativação, mais rápida foi a resposta percebida pelo solicitante; e o tempo de atendimento representa a atenção dispensada a ele. Por sua vez, os tempos de espera em fila e de ocupação retratam a visão do sistema de atendimento sobre a ocorrência, pois representa o prejuízo da espera da chamada e o período de consumo do recurso, já que durante o deslocamento – tempo decorrido entre a designação da viatura e a chegada até o local do incidente – a viatura não pode ser (em princípio) desviada de seu propósito.

Esta dissertação terá como base as duas visões, focalizando a visão do sistema, uma vez que esta trata do consumo dos recursos. Será realizada, assim, uma caracterização

²A atendimento pode ser encerrado em local diferente do de chegada, de acordo com a necessidade da ocorrência (perseguições, acompanhamento de vítimas a hospitais etc.).

temporal e espacial das ocorrências policiais e a proposição de políticas que representem o melhor atendimento com menor uso de recursos, de acordo com métricas e objetivos definidos (como rapidez e/ou priorização de atendimento).

Como a incidência de ocorrências está intrinsecamente relacionada à sua natureza, ao local e ao momento em que ocorre, consideraremos durante a caracterização temporal três dimensões das ocorrências policiais: natureza N , localização L e intervalo de surgimento T . Assim, todas as ocorrências são definidas pela tupla (n, l, t) , onde $n \in N$, $l \in L$ e $t \in T$. Duas ocorrências i e j são consideradas do mesmo tipo se $n_i = n_j$. A caracterização dos tempos entre chegadas de ocorrências e do tempo de ocupação dos recursos será feita de acordo com as três dimensões. Da mesma forma, apresentaremos a caracterização espacial que identifica as concentrações de ocorrências em algumas unidades territoriais (L) e como se comportam no espaço ao longo do tempo.

A figura 3.3 apresenta o esquema adotado na caracterização e na proposição e simulação de políticas. O problema do consumo de recursos é tratado em dois níveis, de forma hierárquica. Primeiro, define-se como as viaturas disponíveis para a polícia são alocadas entre as companhias, ou seja, a disposição geográfica dos recursos. Em seguida, define-se para cada companhia quais são as ocorrências a serem atendidas de acordo com a política adotada. Cada companhia recebe um número de ocorrências para atender (de acordo com as taxas de chegada de cada tipo, λ_x , onde x é o tipo) e as viaturas permanecem ocupadas durante este atendimento (de acordo com o tempo médio de ocupação de cada tipo, μ_x). As ocorrências não atendidas no momento de suas chegadas, por não haver viaturas disponíveis, aguardam na fila da companhia correspondente ao local de incidência até que a política de despacho aloque um recurso para servi-las (cada ocorrência atendida por uma viatura).

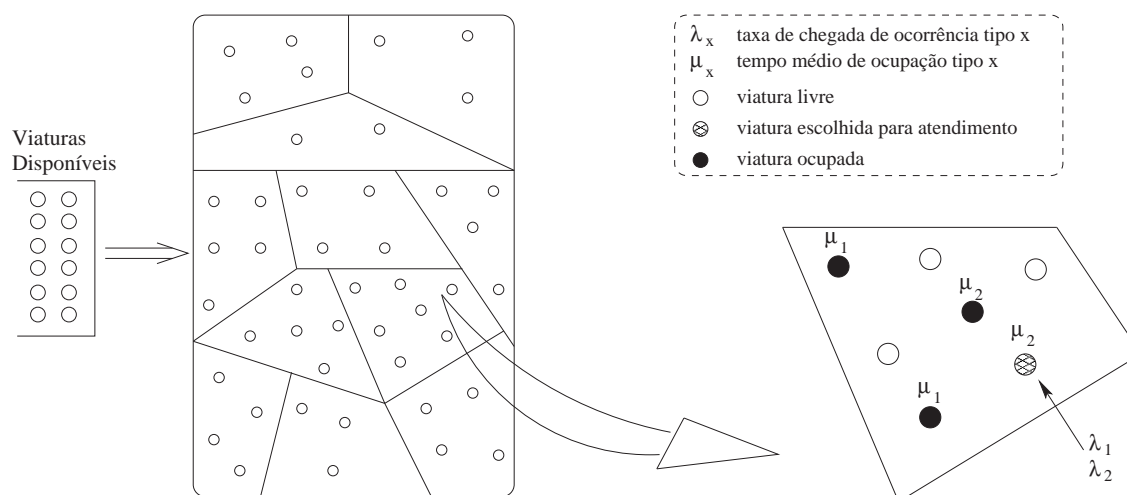


Figura 3.3: Modelo hierárquico de alocação e despacho de recursos.

É importante destacar que, não somente no Estado de Minas Gerais como em todo o

Brasil, a Polícia Militar divide as funções de policiamento com a Polícia Civil. A PM é responsável pelo policiamento ostensivo (preventivo), pelo registro de ocorrências e atendimento de pedidos de socorro (reativo), enquanto a investigação, que por ventura se seguir é, feita exclusivamente pela Polícia Civil.

No próximo capítulo, vamos realizar a caracterização das ocorrências policiais para determinar suas características quanto à natureza, a localidade e o tempo de surgimento. Com isso, será possível propor alocações de recursos para ações preventivas e reativas, bem como utilizar os dados resultantes da caracterização para propor e avaliar políticas de despacho que favoreçam o atendimentos por prioridades ou de minimização do tempo de espera como um todo.

Capítulo 4

Caracterização Espaço-Temporal de Ocorrências Policiais

A caracterização das ocorrências provê o conhecimento aprofundado dos diferentes aspectos da carga analisada, como o processo de chegada das solicitações ao centro de operações e o tempo durante o qual os recursos são alocados para servir a chamada. Estas duas características definem de que forma as ocorrências consomem recursos do sistema, no caso, viaturas das companhias de polícia.

A partir dessa análise é possível responder à pergunta:

Como e em quais atividades a polícia gasta seu tempo?

A resposta correspondente indica se a atividade básica da polícia, de atendimento de ocorrências de crimes, corresponde ao principal esforço da instituição, bem como se há alguma forma de favorecimento para o atendimento de determinadas ocorrências.

Para realizar a caracterização estatística dos dados, é preciso definir as dimensões de análise que considerem as diferenças entre os objetos analisados. No contexto deste trabalho, há três características fundamentais das ocorrências policiais, as quais constituirão as dimensões das análises que se seguirão: **a natureza dos eventos** (assalto, agressão, *blitz*, assistência a parturiente etc), **o momento em que acontecem** e **a localização geográfica** (veja capítulo 3). Entretanto deve-se definir qual a unidade de trabalho em cada dimensão, pois a exploração do espaço por elas formado tende a ser inviável. Deve-se buscar, assim, uma unidade de agregação mínima dos dados a partir da qual seja possível reduzir o espaço de análise.

Dessa forma, caracterizamos as ocorrências policiais através da obtenção das distribuições estatísticas que regem o processo de chegada das ocorrências e o tempo de ocupação dos recursos ao atendê-las, de acordo com os domínios N , L e T das ocorrências. As informações obtidas descrevem a forma de consumo de recursos e fornece base para geração

de carga sintética fiel às características das ocorrências reais.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: a seção 4.1 apresenta os dados da base disponibilizada pela Polícia Militar de Minas Gerais, referentes aos boletins de ocorrência registrados. A seção 4.2 descreve os problemas encontrados no tratamento da base de dados e o processo de limpeza de inconsistências e dados espúrios ou incompletos. A seção 4.3 mostra as categorizações de ocorrências de forma a concentrar as análises em tipos similares quanto à natureza. As seções 4.4 e 4.5 apresentam a caracterização temporal e a espacial, respectivamente.

4.1 Base de Dados

Os dados utilizados na caracterização provêm de boletins de ocorrências policiais registradas pela Polícia Militar de Minas Gerais, em especial aquelas originadas de chamadas telefônicas à central de atendimento (COPOM). Através de convênio firmado entre a PMMG e o Crisp – Centro de Estudos de Criminalidade da Universidade Federal de Minas Gerais, parte das informações registradas em todos os boletins coletados pela polícia foram disponibilizados para a realização deste trabalho.

Durante a caracterização de carga, foram utilizadas duas bases de dados fornecidas pela Polícia Militar. A primeira delas composta por ocorrências dos anos de 2000 a 2002, sem informações geo-referenciadas, porém com categorização das ocorrências segundo a sua natureza, definida pela PM, que chamaremos de base *LOG*. A segunda base contém eventos de 2000 a 2003 geo-referenciados, porém não há indicação sobre a categoria dos mesmos. Chamaremos essa segunda base de *LOGGEO*. Há interseção de grande parte das duas bases, no entanto uma não é subconjunto da outra. Na maior parte do trabalho, utilizamos a base *LOGGEO*, sendo indicado o contrário quando o objetivo da análise depende da categorização fornecida pela PMMG.

As principais informações utilizadas nas análises, relacionadas a cada ocorrência, são:

Natureza : Identifica a ocorrência de acordo com a sua natureza. São catalogadas pela PM mineira 557 naturezas de ocorrências. Por exemplo, lesão corporal, assalto, colisões sem vítima fatal, pessoa desaparecida, *blitz*, assistência a parturiente etc.

Categoria ¹: Classificação das ocorrências adotada pela PMMG para agrupar ocorrências de naturezas semelhantes. Como será visto na seção 4.3, há outras formas de categorização estudadas.

Origem da ocorrência : Indica se a ocorrência foi informada à polícia por cidadãos

¹Presente apenas nos registros de *LOG*.

comuns, por iniciativa de policiais em patrulhamento, por autoridades políticas, autoridades judiciárias, pelo comando da polícia etc.

Data de chamada : Indica o dia e a hora em que foi realizada a chamada ao 190. Caso a ocorrência tenha sido registrada por iniciativa de um policial em patrulha, representa data em que o evento foi observado pelo mesmo.

Data de alocação ²: Uma vez que a chamada é registrada, ela é encaminhada ao setor de operação responsável por designar uma viatura para atendimento da solicitação. O dia e a hora em que uma viatura é designada à ocorrência também é registrada. Chamamos de data de alocação, pois uma vez que a viatura está assinalada para o atendimento, ela não mais está disponível para o sistema.

Data de chegada : Informa o dia e a hora em que a viatura chegou ao local do evento. Essa data não possui preenchimento automático, devendo ser anotada pelos policiais responsáveis e cadastrada no sistema quando do cadastro das demais informações coletadas durante o atendimento. Há, portanto, grande probabilidade de imprecisão no dado fornecido.

Data de encerramento : Representa o dia e a hora em que a viatura deixou o local do evento, ficando novamente disponível para outros atendimentos. Também não possui preenchimento automático, acarretando possível imprecisão no cadastramento do boletim no sistema.

Logradouro : Endereço do evento. Caso não seja possível informar o endereço completo, um aproximado é obtido através da referência a pontos conhecidos (postos de luz identificados pela companhia de energia, telefones públicos próximos etc). A partir dessa informação, é possível identificar as coordenadas geográficas do evento, porém a medição não é exata e podem ocorrer diversos erros ao geo-referenciar o logradouro.

Setor Censitário ²: Informação geográfica associada ao logradouro do evento. O setor censitário é a unidade territorial utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – para fins de controle cadastral da coleta. De acordo com o censo de 2000, a cidade de Belo Horizonte possui 2.563 setores censitários, cada qual composto por aproximadamente 250 domicílios e uma média de 874 pessoas. Para simplicidade, chamaremos daqui em diante apenas de setores.

Bairro ²: Há duas dificuldades em determinar o bairro no qual a ocorrência foi originada. Primeiramente, não há limites oficiais dos bairros da cidade. Além disso, a definição do bairro presente nos boletins de ocorrência é dada pelo cidadão que originou a

²Presente apenas nos registros de *LOGGEO*.

chamada, ou seja, é uma indicação subjetiva e imprecisa. Foi utilizada, então, uma divisão territorial bem definida adotada pelo Crisp, que busca aproximar as regiões sob os mesmos aspectos culturais, sociais e econômicos naturalmente relacionados aos bairros. Os bairros possuem área maior que os setores.

Unidade de Planejamento - UP ³: Unidade de análise geográfica adotada pela Prefeitura de Belo Horizonte. Engloba um ou mais bairros, porém um bairro pode estar dividido em mais de uma UP.

Companhia : De acordo com a localização geográfica, uma ocorrência é atendida por uma das 24 companhias de polícia da cidade de Belo Horizonte. Cada companhia abrange mais de um bairro, porém sua área de atuação é menor que das UP's. Cada companhia ainda pertence a um dos seis batalhões, que englobam regiões da cidade – norte, noroeste, central, sul, leste e oeste.

Os dados de preenchimento não automático representam a maior parte dos problemas existentes nos registros. Há duplicidade de boletins, imprecisão de medidas (como de tempo de chegada e encerramento, posição geográfica), falta de parte dos dados em algumas ocorrências, dentre outras incorreções. Por essa razão, a base de dados passou por um processo de tratamento, discutido na seção 4.2.

Foram disponibilizadas ocorrências dos anos de 1995 a 2003. No entanto, até o ano de 2000, nem todas as ocorrências eram registradas eletronicamente e apenas a partir desse ano as ocorrências foram geo-referenciadas e foram acrescentadas as coordenadas do local. Assim, foram tratados e analisados somente as ocorrências do período de 2000 a 2003 e atendidas por uma das 24 companhias, não sendo incluídos atendimentos às cidades que compõem a região metropolitana de Belo Horizonte.

4.2 Tratamento dos Dados

Todo processo de registro de eventos sofre interferências indesejadas, que causam inconsistências, discrepâncias e outras incorreções, até mesmo em sistemas computacionais instalados em ambientes controlados. Sistemas sociais sofrem ainda mais por se tratarem de sistemas não controlados e que dependem em diversos pontos da manipulação humana. Como mencionado na seção 4.1, muitos dados são cadastrados de modo manual e em momentos posteriores aos acontecimentos (como tempo de chegada e encerramento), ou inferidos a partir de outros de baixa precisão (como coordenadas geográficas derivadas de logradouros, definição de bairros).

³Presente apenas nos registros de *LOGGEO*.

Ainda há outras dificuldades que afetam a precisão da caracterização e a aplicabilidade de seus resultados, tais como:

1. Nem todos os crimes ocorridos são informados à polícia. Assim, não há um conhecimento exato sobre o número de ocorrências num dado período de tempo, mas um número aproximado que retrata a quantidade de serviço imposta à polícia e registrada nos boletins de ocorrência.
2. A classificação da natureza de uma ocorrência é subjetiva e feita pelos policiais. Assim, não há garantia de que a duas ocorrências de um mesmo tipo seja atribuída a mesma natureza. Tenta-se contornar o problema definindo um número extenso de naturezas⁴, porém não há classificação automática.
3. Falta de precisão nas datas das várias etapas de tratamento dos eventos, não registradas automaticamente pelo sistema.
4. Falta de precisão ou impossibilidade na medição das coordenadas geográficas que identifiquem com exatidão o local do evento.
5. Possível filtragem de informações divulgadas pela polícia de acordo com o que ela considerar sigiloso, ou inconsistência no armazenamento e na coleta da ocorrências. A diferença entre *LOG* e *LOGGEO* é um exemplo disso, pois efetivamente nenhum dos dois conjuntos possui, com garantia, o conjunto completo de ocorrências registrado (há ocorrências em uma das bases não presentes na outra, e vice-versa), mas sim uma amostra [22]. Muitas vezes, são feitos *surveys* para complementar os dados oficiais e suprir tais deficiências.

Por essas razões, as bases de dados, que representam os arquivos com as ocorrências, sofreram um extenso processo de limpeza a fim de que fosse minimizado o conjunto de dados incorretos. Assim, excluímos da massa original as ocorrências: a) registradas fora da cidade de Belo Horizonte; b) nas quais as datas não tivessem sido informadas ou que fossem inválidas; c) em que os intervalos entre as datas demarcadas fossem negativos (data de encerramento mais recente que a data de chegada, por exemplo); d) em que as ocorrências possuíssem quaisquer dos intervalos entre datas superior a 24 horas; e) em que não estivessem informadas as coordenadas geográficas.

A definição subjetiva dos bairros de ocorrência dos eventos representou outra dificuldade de análise dos dados, especialmente durante a caracterização espacial. Como não há oficialmente uma delimitação dos bairros, são solicitados aos cidadãos atendidos que informem o bairro que julgam corresponder ao local do evento. Existem, assim, nomes

⁴As polícias militares dos Estados definem, cada uma, suas classificações de naturezas.

variados para uma mesma região, registrados como bairros diferentes na base. A solução encontrada foi utilizar a delimitação de bairros definida pelo Crisp [22].

De forma complementar, dividimos as bases em dois conjuntos de análise: o conjunto completo de ocorrências e um subconjunto deste, composto apenas por ocorrências originadas por iniciativa de cidadãos comuns⁵. O conjunto total é utilizado quando extraímos características gerais do sistema, como o entendimento da relação entre número de ocorrências de uma dada categoria e a localização no espaço físico. Já o conjunto de ocorrências de cidadãos é usado quando temos o foco da análise na percepção do cidadão no atendimento das ocorrências, por consequência a avaliação que este faz da polícia.

A tabela 4.1 mostra o número de ocorrências obtidas após a limpeza da base *LOGGEO*, mais utilizada por conter geo-referenciamento, e o número de ocorrências descartadas.

Ano	ocor. descartadas	# ocorrências finais	ocor. de cidadãos comuns
2000	24%	347.097	70%
2001	22%	393.239	56%
2002	29%	446.520	59%
2003	19%	503.226	56%
Total	24%	1.690.082	60%

Tabela 4.1: Resultado da limpeza da base de dados *LOGGEO*.

4.3 Classificação de Ocorrências

A seção 4.1 mostrou que as ocorrências são classificadas em 577 naturezas diferentes, definidas pela PMMG. Para possibilitar análises, as naturezas são agrupadas em categorias. Essa estratégia faz-se necessária pois o tipo da ocorrência é apenas uma das três dimensões que definem um espaço fatorial de caracterização, e a utilização o número total de naturezas tornaria as análises impraticáveis. A Polícia Militar possui uma categorização própria indicada no registro de cada ocorrência, vista na tabela 4.2.

A categorização diminui o número de variáveis a serem analisadas, entretanto o espaço de exploração permanece inviável para análises com 20 categorias, distribuídas em cada divisão geográfica e em diferentes períodos de tempo. Desta forma, buscou-se reagrupar as ocorrências em um número menor de categorias, chamadas de *supergrupos*, apresentados na tabela 4.3.

O agrupamento por supergrupos tenta basicamente definir as diferenças em ocorrências de crimes e “não crimes”. Neste último caso, os eventos que não representam os crimes

⁵Por simplicidade, chamado daqui em diante de cidadãos.

	Categoria		Categoria
1	Assistência	11	Flora
2	Contra pessoa	12	Substância entorpecente
3	Contra patrimônio	13	Administração pública
4	Contra costumes	14	Incêndios
5	Contra a incolumidade pública	15	Busca e salvamento
6	Mineração	16	Prevenção de bombeiros
7	Fauna ictiológica	17	Diversas de bombeiros
8	Trânsito urbano	18	Diversas de polícia
9	Trânsito rodoviário	19	Operações, solicitações e comunicações
10	Fauna silvestre	20	Procedimentos administrativos

Tabela 4.2: Categorias de ocorrências segundo a PMMG.

Supergrupo	Categorias da PM
Assistência	1
Crimes Violentos	2, 3, 4 e 5
Procedimentos	19 e 20
Outros	de 6 a 8

Tabela 4.3: Categorização por supergrupos.

violentos são divididos em assistências, procedimentos e outros tipos de ocorrências por possuírem características muito distintas entre si. Assim, é possível verificar quanto tempo a polícia depende exclusivamente para atender ocorrências de crimes, consideradas mais graves e importantes, e em outras atividades.

Outros dois agrupamentos foram propostos e serão utilizados durante a caracterização. Essa medida foi necessária, pois a agregação de supergrupos mostrou-se ineficiente na identificação de padrões de comportamento, por envolver em cada categoria um número muito diverso de naturezas, em especial no supergrupo de Crimes Violentos. Adotamos então a divisão definida pelos sociólogos do Crisp, composta por nove *grupos* (veja a tabela 4.4). O agrupamento possibilita conhecer a forma de consumo de tipos similares de ocorrências, podendo ser utilizada a caracterização correspondente em experimentos que simulem todas as atividades da polícia, sejam elas reativas (grupos G1 a G6) ou preventivas e administrativas (grupos G7 a G9).

Em algumas análises, foi preciso expandir o grupo G2 (crimes violentos), tratando naturezas em separado. Isso se deu por serem crimes de gravidade e cujo estudo individual é mais relevante. Foram duas as situações que necessitamos subdividir G2: na caracterização

Grupo	Descrição
G1	Assistência
G2	Crimes violentos
G3	Criminalidade (contra pessoa, patrimônio, costumes)
G4	Fauna e flora
G5	Crimes de trânsito
G6	Averiguações
G7	Cancelamentos e operações sem deslocamento (<i>a priori</i>)
G8	Operações diversas (batidas, <i>blitz</i> , combate ao crime organizado, policiamento especial)
G9	Outras

Tabela 4.4: Categorias de ocorrências segundo o Crisp.

espacial, identificando concentrações geográficas de naturezas pontuais; e na avaliação de políticas de despacho, principalmente aquelas que consideram prioridade entre os crimes cujas possibilidades de agravamento indicam a rapidez com que necessitam ser atendidas (por exemplo, perturbações evoluírem para agressões, assaltos evoluírem para homicídios tentados/consumados). Em ambos os casos, as separações foram definidas pelos estudiosos do Crisp e estão mostradas na tabela 4.5 (caracterização espacial) e 4.6 (divisão para simulações).

Natureza	Descrição
C05027	Roubo a transeunte
C09027	Assalto a transeunte
C09004	Assalto a ônibus/coletivo
C09010	Assalto a prédio comercial
C09018	Assalto de veículo
C09008	Assalto a padaria
C09031	Assalto a posto de gasolina
C09009	Assalto a supermercado
B04002	Homicídio consumado

Tabela 4.5: Naturezas para caracterização espacial.

Tipo	Natureza	Descrição
T1	C09xxx	Assaltos
T2	C05xxx	Roubos
T3	B32000	Agressão
T4	D36000, D38000	Perturbação
T5	G3	Criminalidade
T6	G5	Trânsito
T7	G6	Averiguações
T8	G1	Assistência

Tabela 4.6: Naturezas e grupos para simulação de prioridades.

4.4 Caracterização Temporal

A caracterização dos aspectos temporais provê informações sobre o consumo de recursos. Apesar da ampla utilização em estudos de sistemas computacionais, não há trabalho na literatura que utilize a mesma metodologia para obter informações sobre sistemas sociais, especificamente sobre eventos associados aos estudos criminológicos.

Dois aspectos da caracterização são essenciais na identificação de parâmetros para geração de dados sintéticos fiéis aos reais e para simulação do sistema. É preciso conhecer: a) o processo que rege a chegada de eventos e b) o tempo de ocupação do recurso policial, compreendendo o deslocamento até o local da solicitação e o tempo em que o recurso realiza o atendimento. Ambos têm impacto no consumo de recursos, foco desta dissertação. Por essa razão, especialmente as distribuições estatísticas dos tempos de ocupação das ocorrências será de suma importância para a proposição de políticas de despacho que minimizem o tempo de espera em fila (a serem apresentadas no capítulo 5).

Foram realizadas análises preliminares das ocorrências presentes em *LOG*, classificadas em supergrupos, e uma caracterização espaço-temporal aprofundada da base de dados *LOGGEO* categorizada nos grupos definidos na tabela 4.4. A seção 4.4.1 apresenta as análises realizadas para a categorização em supergrupos na base *LOG*, enquanto a seção 4.4.2 mostra a metodologia de caracterização temporal aplicada à base *LOGGEO* e seus resultados.

4.4.1 Análise de Ocorrências por Supergrupos

São analisadas as ocorrências policiais da base *LOG*, a partir das quais procurou-se identificar padrões dos tempos de atendimento e dos tempos de ativação de cada supergrupo. Eles correspondem ao intervalo entre a chegada da viatura ao local solicitado e

o encerramento da ocorrência; e ao intervalo corresponde ao tempo entre a solicitação do cidadão e a chegada da viatura ao local, incluindo o tempo de espera por liberação de recurso e possíveis deslocamentos da viatura (figura 3.2). Quanto menor o tempo de ativação, maior a prioridade dada à ocorrência (tempo de espera) e/ou menor a distância da presença policial em relação à região afetada (deslocamento). Ambos os fatores indicam favorecimento do par natureza-localização da ocorrência.

Informações gerais

Apresentamos aqui os dados estatísticos gerais obtidos das bases normalizadas da PMMG nos anos de 2000 a 2002, referentes a *LOG*. Sobre esses dados podemos verificar o número de ocorrências de cada ano na tabela 4.7.

Supergrupo	2000 (%)	2001 (%)	2002 (%)	2000-2002 (%)
Assistência	26.165 (6,2)	32.344 (8,0)	43.369 (8,5)	101.878 (7,6)
Crimes violentos	145.789 (34,5)	143.367 (35,6)	160.185 (31,5)	449.341 (33,7)
Procedimentos	146.431 (34,7)	124.936 (31,1)	185.757 (36,6)	457.124 (34,3)
Outros	103.976 (24,6)	101.588 (25,3)	118.792 (23,4)	324.356 (24,3)
Total	422.361 (100)	402.235 (100)	508.103 (100)	1.332.699 (100)

Tabela 4.7: Número anual de ocorrências por supergrupo.

A tabela 4.8 apresenta o tempo de ativação e de atendimento para cada supergrupo e das ocorrências como um todo, no período de 2000 a 2002. Como esperado, as ocorrências assistenciais e de procedimentos possuem tempos de ativação mais baixos que as demais categorias (concentrados em torno de menos de 2 minutos). Esse resultado é razoável especialmente nos procedimentos, já que as atividades desse grupo são usualmente planejadas (por exemplo, batidas policiais, atividades de combate ao crime organizado, *blitz*, escolta etc). Os procedimentos ainda apresentam a maior média e mediana de tempo de ocupação de recursos, também pela natureza das atividades envolvidas.

A análise por supergrupo mostra que há dois padrões quanto aos tempos de ativação e atendimento. No caso da ativação, os padrões envolvem assistência e procedimentos, e crimes violentos e outras ocorrências, observados na figura 4.1, que apresenta as distribuições acumuladas dos tempos de ativação por supergrupo. A ativação de procedimentos e assistências tende a ser mais curto que de crimes violentos e outras ocorrências, pelo fato das primeiras serem normalmente programadas pela polícia ou originadas pela iniciativa policial (como assistência a parturiente). Crimes violentos e outros crimes estão mais suscetíveis ao acaso e a ativação dos mesmos não possui planejamento, dependendo da disponibilidade imediata de recursos.

Supergrupo	Ativação (min)			Atendimento (min)		
	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana
Assistência	15,16	30,09	1,07	74,87	112,72	35,30
Crimes violentos	33,87	34,98	25,52	41,56	59,14	25,55
Procedimentos	26,48	58,41	1,63	152,82	192,96	64,58
Outros	31,70	38,53	21,77	42,11	64,38	14,48
Geral	29,38	45,16	16,67	82,41	136,36	29,63

Tabela 4.8: Média e mediana de tempos de ativação e atendimento.

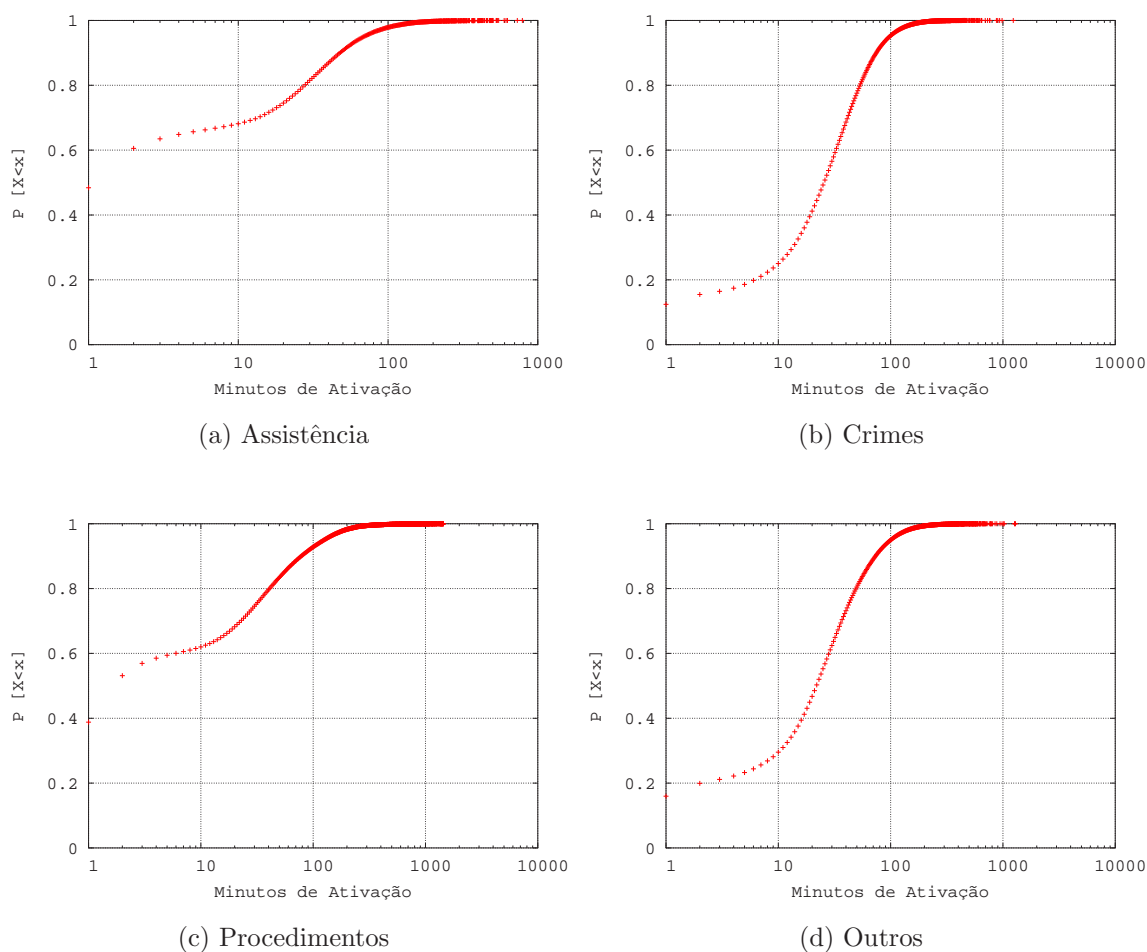


Figura 4.1: Distribuição acumulada de ativação, por supergrupos.

Para o tempo de atendimento, somente o grupo de procedimentos possui características específicas (veja figura 4.2). Essas ocorrências usualmente exigem maior contingente policial e são bastante diversificadas, contendo atividades de longa duração como *blitz*, cobertura de eventos artísticos e esportivos, escoltas etc.

Ainda procuramos identificar padrões de ativação e atendimento, separando-os em três

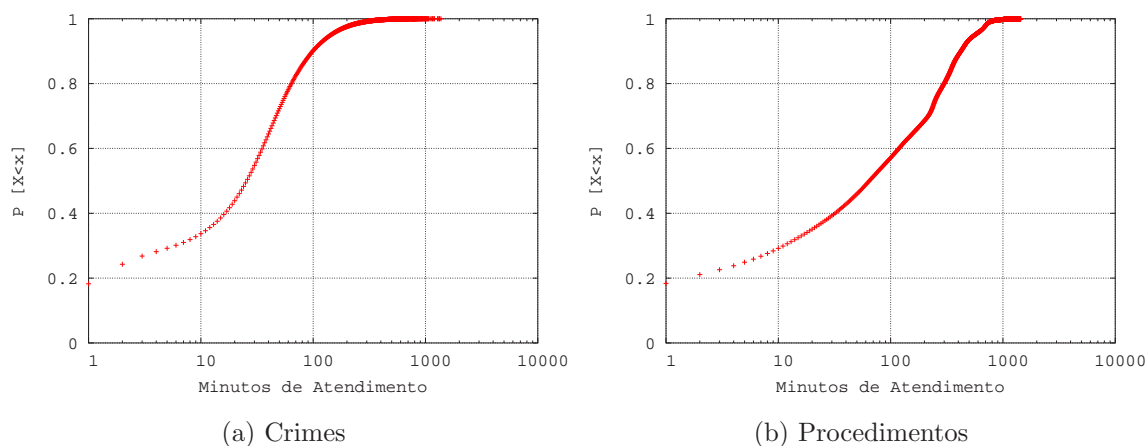


Figura 4.2: Distribuição acumulada de atendimento, por supergrupos.

intervalos: de duração de 0 a 60 minutos, de 60 a 180 minutos, de mais de 180 minutos. Cada intervalo ainda foi avaliado separadamente, de acordo com a data de início em dias úteis (de 3h de segunda-feira às 18h de sexta-feira) ou finais de semana (de 18h de sexta-feira às 3h de segunda-feira). Em adição, verificamos o número de ocorrências aguardando atendimento ou sendo atendidas ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que não há padrão diferenciado entre os supergrupos. As análises dos dados segundo a classificação de supergrupos ressaltam as diferenças básicas de atendimento e ativação, naturais dos tipos de ocorrências que agrupam, não sendo ressaltadas características marcantes dos grupos quanto a privilégios atribuídos pela polícia e quanto ao momento em que acontecem. Do que se conclui que a agregação em apenas 4 categorias impede análises mais aprofundadas dos dados, sendo realizada uma caracterização temporal com base na divisão em 9 categorias (tabela 4.4).

4.4.2 Caracterização por Grupos

A partir da classificação por supergrupos, não identificamos padrões fortes de incidência em áreas e períodos específicos, ou mesmo de tempos diferentes de acordo com essas variações. Por essa razão, utilizamos a categorização apresentada na tabela 4.4 para a caracterização temporal. Essa categorização possui mais divisões, o que evita a agregação de ocorrências de naturezas com características díspares. Aqui apresentaremos uma caracterização mais aprofundada do ciclo de vida das ocorrências policiais.

A caracterização temporal foi realizada tomando por base as ocorrências originadas por cidadãos comuns de *LOGGEO* e utilizando a divisão em grupos mostrada na tabela 4.4. A escolha do conjunto de boletins cuja origem de solicitação é dos cidadãos foi importante para obtenção das distribuições de tempo de espera e de ocupação de recursos, utilizadas em

simulações posteriores. A caracterização desse conjunto e os resultados dos experimentos retratam a percepção do cidadão acerca dos crimes ocorridos na cidade e do serviço prestado pela polícia. A tabela 4.9 apresenta as quantidades por grupo de ocorrências utilizadas na caracterização temporal.

Grupo	2000 (%)	2001 (%)	2002 (%)	2003 (%)	2000-2003 (%)
G1	8.744 (3.6)	8.818 (4.0)	9.712 (3.7)	8.271 (2.9)	35.545 (3.5)
G2	16.806 (6.9)	15.744 (7.1)	18.912 (7.2)	26.975 (9.6)	78.437 (7.8)
G3	95.401 (39.1)	88.230 (39.9)	98.104 (37.4)	93.954 (33.5)	375.689 (37.3)
G4	230 (0.1)	17 (0.0)	72 (0.0)	56 (0.0)	375 (0.0)
G5	27.331 (11.2)	22.402 (10.1)	22.761 (8.7)	20.264 (7.2)	92.758 (9.2)
G6	86.919 (35.6)	76.448 (34.6)	102.281 (39.0)	116.246 (41.4)	381.894 (37.9)
G7	5.100 (2.1)	5.406 (2.4)	7.745 (3.0)	10.400 (3.7)	28.651 (2.8)
G8	239 (0.1)	311 (0.1)	260 (0.1)	452 (0.2)	1.262 (0.1)
G9	3.116 (1.3)	3.657 (1.7)	2.666 (1.0)	4.099 (1.5)	13.538 (1.3)
Total	243.886	221.033	262.513	280.717	1.008.149

Tabela 4.9: Número anual de ocorrências por grupo.

Por sua vez, a unidade escolhida da dimensão espacial de análise da caracterização temporal foi de “Companhia”. A unidade mostra-se como a mais adequada, pois a caracterização busca compreender a forma como os recursos são designados e permanecem ocupados no atendimento das ocorrências. O uso de companhias é bastante apropriado por serem elas as detentoras de recursos e responsáveis pelo atendimento das ocorrências dos limites de suas respectivas áreas. A divisão da cidade em companhias é mostrado na figura 3.1.

A última dimensão a ser definida refere-se à unidade de tempo. Idealmente, a aferição mais precisa deve ser feita para a menor unidade para a qual a distribuição estatística dos tempos entre chegadas e de ocupação de recursos é estável. Diminuir o nível de agregação das amostras, utilizando intervalos mínimos de observação, permite identificar mudanças de comportamento com o passar do tempo, tais como início de rajadas ou queda bruscas de chamadas. Dessa forma, foi utilizada a unidade de mês e foram considerados conjuntos (n, l, t) de observações com número mínimo de 100 amostras ⁶.

Os parâmetros utilizados na geração de dados sintéticos durante simulações foram obtidos a partir da caracterização mensal, para os conjuntos completos de N e L , e para um conjunto de meses de interesse⁷ – agosto, outubro e dezembro (2000 e 2001), janeiro,

⁶Automaticamente são excluídos os grupos G4 e G8 (no caso de registros de cidadãos) por não possuírem número suficiente de amostras por mês.

⁷Os meses correspondem a uma seleção daqueles apresentados como críticos no Atlas da Criminalidade

março e maio (2001). Mesmo dispondo dos anos de 2002 e 2003, a caracterização se concentrou nos meses citados por haver análises sociológicas sobre o mesmo período no Atlas da Criminalidade em Belo Horizonte [22].

Para determinar as distribuições que descrevem o processo de chegada e de ocupação de recursos, bem como seus parâmetros, utilizamos como principal medida de qualidade do *fitting*⁸ o método dos mínimos quadrados ou *least square fit* (LSF) [56]. Ele determina o somatório das diferenças quadradas entre a curva estimada e a curva dos dados medidos. Quanto menor o resultado de LSF, mais bem ajustada é a curva à distribuição proposta. Entretanto, se parte da curva é de maior importância para uma certa análise, ou seja, se o *fitting* perfeito em parte da curva de dados é compensatória em relação ao *fitting* imperfeito de outra parte menos relevante, o valor de LSF pode levar a crer que a distribuição em questão não modela satisfatoriamente os dados medidos. Nesses casos, a inspeção visual é fundamental para resolver o impasse.

A seguir apresentamos os principais resultados da caracterização do processo de chegada e do tempo de ocupação dos recursos pelas ocorrências.

Processo de chegada

A função de distribuição do tempo decorrido entre a chegada de duas ocorrências semelhantes ($n_i = n_{i+1}$ e $l_i = l_{i+1}$, onde i é o tempo de chegada da primeira ocorrência e $i + 1$ a data de chegada da ocorrência consecutiva) indica com que taxa as ocorrências chegam ao sistema. Ele representa a medida da carga imposta a cada companhia.

Caracterizamos o tempo entre chegadas para todas as combinações de grupos, companhias e intervalos de tempo mensais. Apresentaremos os resultados dos quatro grupos de maior importância, seja pela gravidade de suas ocorrências ou pela frequência de incidência, $N_{mês} = \{G2, G3, G5, G6\}$. As companhias avaliadas foram as duas de maior carga, $L_{mês} = \{cia6, cia14\}$ e os meses utilizados foram $T = \{ago00, out00, dez00, jan01, mar01, mai01, ago01, out01, dez01\}$. A escolha dos meses está apoiada nas análises presentes em [22], como meses de maior incidência das ocorrências dos grupos de $N_{mês}$. As distribuições encontradas e seus parâmetros serão usados em simulações, descritas no capítulo 6.

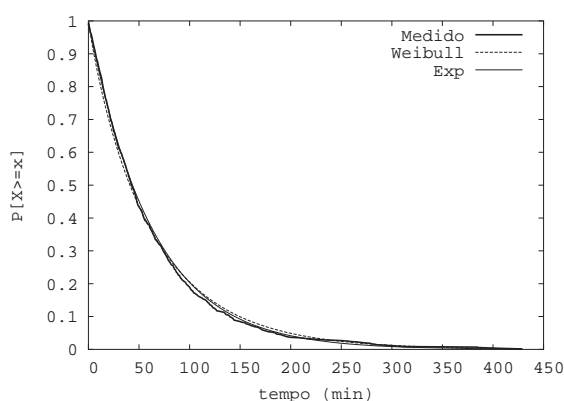
A distribuição de probabilidade Weibull apresentou o menor *LSF* para o tempo entre chegadas mês a mês. Pela inspeção visual, verificamos que a distribuição exponencial é igualmente representativa, especialmente no corpo da curva⁹. A figura 4.3 apresenta exemplos típicos de *fitting*. Na figura 4.3(a), é apresentado um ajuste ideal de tempo entre che-

de Belo Horizonte [22].

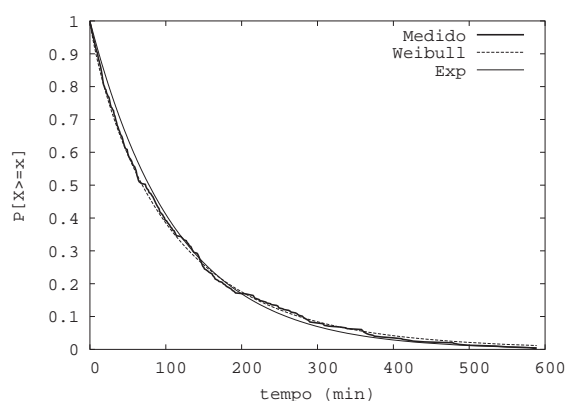
⁸A estimação das distribuições estatísticas que melhor se adequavam aos dados medidos foi feita a partir do pacote estatístico da ferramenta **Matlab**.

⁹As ocorrências do grupo G5 foram exceção, sendo claramente muito melhor representadas por Weibull (cia 6) e Gamma (cia 14).

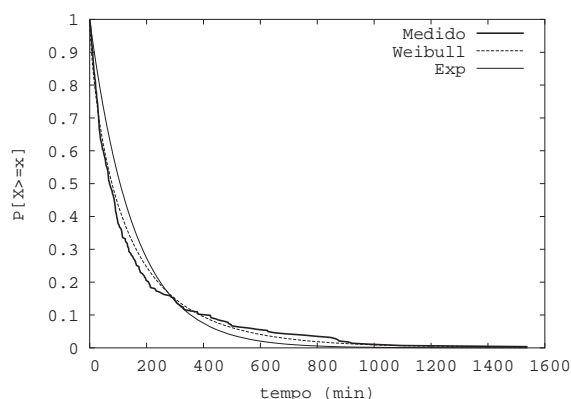
gadas na distribuição exponencial, enquanto a figura 4.3(b) mostra uma curva cujo menor LSF corresponde à distribuição Weibull, porém com ótimo ajuste para exponencial (especialmente na cabeça da curva). É importante observar que tempos entre chegadas menores são mais críticos para o sistema, pois demandam atendimento dos servidores (companhias) em curto espaço de tempo. Por essa razão, o *fitting* perfeito da cabeça da distribuição é mais importante que o *fitting* imperfeito da cauda. Desta forma, a distribuição exponencial é igualmente representativa do tempo entre chegadas mensal. Apesar de claramente ser melhor modelada por uma distribuição Weibull, o gráfico da figura 4.3(c) para o grupo G5 mostra que a aproximação por uma exponencial não é grosseira, podendo ser utilizada durante experimentações sintéticas.



(a) Grupo 3, companhia 14, dezembro de 2001



(b) Grupo 6, companhia 6, dezembro de 2000



(c) Grupo 5, companhia 6, dezembro de 2000

Figura 4.3: Distribuição acumulada inversa do tempo entre chegadas.

Também foram analisadas amostras cuja unidade de tempo fosse de dias úteis/finais de semana e de anos. Em ambos os casos, há amostras que ajustam-se à distribuição exponencial, para um conjunto naturezas e companhias, estando em acordo com a caracterização

por meses.

Tempo de ocupação

O tempo de ocupação das ocorrências policiais é definido como o intervalo decorrido entre a designação de uma viatura para atendimento e o encerramento do mesmo (figura 3.2). Significa, portanto, o tempo em que o recurso permanece indisponível para o sistema, o tempo de consumo do recurso. A princípio, uma viatura poderia ser desviada do atendimento de uma ocorrência para atender outra, porém as informações presente em *LOG* e *LOGGEO* não indicam esses acontecimentos. Supomos, então, que os tempos de alocação e encerramento demarcados em *LOGGEO* são referentes a uma única viatura, responsável pelo atendimento completo de uma ocorrência.

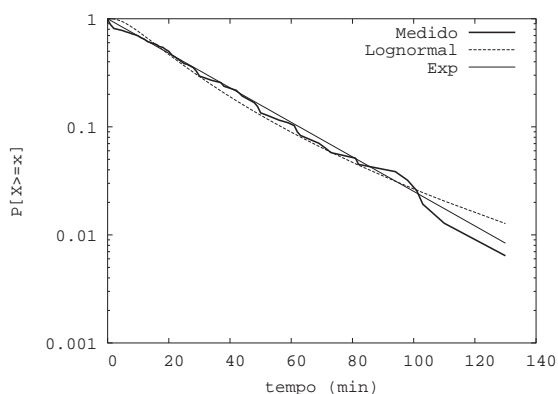
Em acordo com a caracterização de tempos entre chegadas, o tempo de ocupação foi avaliado para todo o espaço definidos pelas dimensões N , L e T . Novamente, serão apresentados os resultados obtidos no espaço definido por $N_{mês} = \{G2, G3, G5, G6\}$, $L_{mês} = \{cia6, cia14\}$, $T_{mês} = \{ago00, out00, dez00, jan01, mar01, mai01, ago01, out01, dez01\}$.

Apesar de apresentar-se melhor como *Lognormal*, a distribuição exponencial apresenta *fitting* muito aproximado para os tempos de ocupação medidos, especialmente na cauda das curvas. Os gráficos da figura 4.4 mostram que o *fitting* em alguns casos (figura 4.4(b)) não é adequado na “cabeça” da distribuição, o que não é crítico, pois os maiores tempos de ocupação causam mais impacto no sistema. Ou seja, o ajuste perfeito da cauda é mais importante no *fitting* do tempo de ocupação. Casos como o apresentado na figura 4.4(c), nos quais o *fitting* de exponencial não é adequado na cauda, são raros e o erro não ultrapassa 0,35% ($tempo \approx 270min$). Apesar da distribuição exponencial subestimar os valores na cauda em relação à curva medida, o erro pequeno resulta em impacto reduzido ao modelar o tempo de ocupação com esta distribuição.

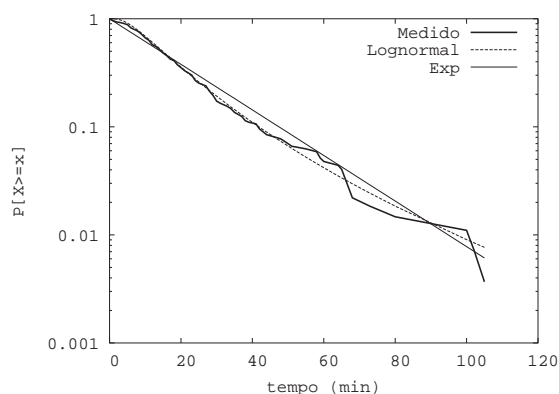
Foram ainda analisados períodos de tempo anuais e por dias úteis/finais e semana, tal como para o tempo entre chegadas. Em geral, o tempo de ocupação é melhor modelado pela distribuição Lognormal, sendo satisfatoriamente representado (em especial na cauda) pela exponencial.

Sumário

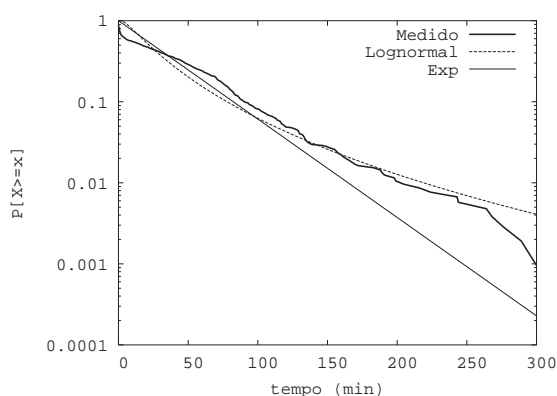
Observa-se que os tempos entre chegadas e os tempos de ocupação são exponencialmente distribuídos nas amostras mensais, anuais e em alguns intervalos de dias úteis/finais de semana para determinadas companhias de polícia. A partir do conhecimento dos parâmetros λ da distribuição exponencial, é possível planejar a quantidade de recursos necessária para atender as demandas impostas pelas ocorrências, de acordo com suas gravidades e localizações de incidência.



(a) Grupo 1, companhia 6, outubro de 2001



(b) Grupo 6, companhia 6, outubro de 2001



(c) Grupo 3, companhia 6, agosto de 2001

Figura 4.4: Distribuição acumulada inversa do tempo de ocupação.

As tabelas 4.10 e 4.11 apresentam o sumário dos parâmetros λ mínimo e máximo da distribuição exponencial, obtidos por companhia e grupo analisados, tanto para tempo entre chegadas, quanto para tempo de ocupação.

A seguir, entenderemos como as ocorrências surgem no espaço urbano, buscando principalmente identificar regiões de concentrações de crimes. O resultado da caracterização espacial é fundamental para a o planejamento das atividades preventivas – atacando zonas de concentração – e das reativas – verificando o desbalanceamento de carga que possa existir entre as áreas de atuação da polícia (no caso, nas companhias).

4.5 Caracterização Espacial

A caracterização espacial das ocorrências policiais procura compreender como elas surgem no espaço urbano. Com isso, é possível verificar áreas de maior incidência, estabelecer correlações entre as naturezas e os aspectos sociais relacionados às áreas detectadas, identi-

Grupo	Companhia	λ da Exponencial oc/min (min/max)
G2	6	0,00370 / 0,00609
	14	0,00242 / 0,00395
G3	6	0,02133 / 0,02951
	14	0,01355 / 0,01748
G5	6	0,00496 / 0,00707
	14	0,00342 / 0,00499
G6	6	0,00612 / 0,01037
	14	0,00918 / 0,01567

Tabela 4.10: Sumário de distribuições para tempo entre chegadas (mensal).

Grupo	Companhia	λ da Exponencial oc/min (min/max)
G2	6	0,02205 / 0,03048
	14	0,01067 / 0,01352
G3	6	0,02505 / 0,03129
	14	0,01267 / 0,01491
G5	6	0,01934 / 0,02452
	14	0,01304 / 0,01527
G6	6	0,04271 / 0,04941
	14	0,02616 / 0,03351

Tabela 4.11: Sumário de distribuições para tempo de ocupação (mensal).

ficar a evolução das incidências ao longo do tempo. São informações de suma importância para aplicação de estratégias de prevenção e de alocação de recursos no combate ao crime.

Um meio de identificação das chamadas zonas quentes (*hot spots*) é a utilização do método de Kernel. Iremos explorar aqui a análise de concentração espacial de crimes através da verificação da Lei de Zipf na cidade de Belo Horizonte, como método alternativo à interpolação de pontos utilizada no método de Kernel. Para isso, verificaremos como se dá a distribuição espacial de distintos tipos de crimes, utilizando as ocorrências criminais de *LOGGEO*. Uma vez identificada a concentração acentuada através da Lei de Zipf em pequenas unidades de espaço, aplicamos técnicas de agrupamentos ou *clustering* de forma a determinar os *hot spots*. Não se trata somente da aplicação de uma nova técnica para encontrar áreas quentes, como também busca-se realizá-la de forma automatizada e precisa, sem necessidade de verificação visual e com informação da discrepância da concentração encontrada. Outra vantagem em utilizar o método pela Lei de Zipf está em não distorcer a incidência de áreas vizinhas aos *hot spots* que não tenham sido afetadas. Isso porque não

há interpolação e suavização de pontos, e sim determinação precisa nos limites da unidade espacial utilizada.

A Lei de Zipf indica que, se dispusermos um conjunto de elementos em ordem decrescente de acordo com o número de incidência de cada um e observarmos um decaimento hiper-exponencial (característica da distribuição de Pareto), encontramos que os elementos de maior *popularidade* representam a grande maioria dos eventos. Ou seja, poucos eventos são muito comuns, e muitos eventos são extremamente raros. Matematicamente, a frequência y de um evento está relacionada ao seu *ranking* r

$$y \propto r^{-\alpha}$$

ou

$$y = kr^{-\alpha} \quad (4.1)$$

onde k é uma constante normalizadora. Pode-se determinar se um fenômeno segue ou não a Lei de Zipf visualmente através do gráfico do *ranking* versus frequência em escala logarítmica, ou mesmo através dos parâmetros k e α . A frequência do uso de palavras de um idioma, *sites* da Internet visitados, compra de livros, salários em grandes corporações, dentre outros fenômenos já foram provados seguirem a Lei de Zipf. Analisamos a seguir a utilização da técnica de classificação, ou *ranking*, na cidade de Belo Horizonte de forma a encontrar quais regiões são mais fortemente afetadas por diversos tipos de crimes, explorando as dimensões de natureza N e localização L (em diferentes granularidades).

Serão avaliadas as concentrações tomando como base duas medidas matemáticas: α e R^2 . O parâmetro α indica quão grande é a concentração (quanto maior α , maior é a diferença no número de ocorrências do local mais atingido para o segundo colocado, do segundo para o terceiro, e assim por diante. Já o valor R^2 indicará se o ajuste da curva de *ranking* à Lei de Zipf é adequado, uma vez que corresponde ao fator de regressão linear [56] aplicado à curva em escala logarítmica. Como a equação 4.1 descreve uma lei de potências, nessa escala a curva correspondente apresenta-se como uma reta, sendo por esta razão utilizado o método de regressão linear para determinar matematicamente se Zipf é uma boa aproximação para o *ranking* obtido.

4.5.1 Definição da unidade espacial

Os registros contidos em *LOGGEO* possuem dados de geo-referenciamento que indicam as coordenadas X e Y de incidência do evento na cidade de Belo Horizonte. A partir dessas informações, é possível identificar a região afetada, de acordo com quaisquer das divisões territoriais que se queira lidar. Como dito na seção 4.1, há 4 divisões definidas:

setor (menor área), bairro informado, bairro geo-referenciado, companhia e unidade de planejamento (maior área).

Inicialmente, utilizamos a menor granularidade espacial, isto é, a unidade considerada será de setores.

4.5.2 Metodologia e Resultados

A cidade de Belo Horizonte foi dividida em 2.563 setores, como explicado na seção 4.1. Para cada uma das categorias de ocorrências apresentadas na tabela 4.5, utilizadas por tratarem-se de crimes violentos, contabilizamos o número de ocorrências de cada tipo em cada setor, para os anos de 2000 a 2003. Como tratamos de naturezas (sem agrupamentos), o número reduzido de ocorrências em cada ano dificultou a identificação de *hot spots*, sendo necessário utilizar todo o intervalo disponível. A partir desses dados, realizamos o *ranking* dos setores mais atingidos, colocando-os em ordem decrescente de acordo com o número de ocorrências que obtiveram no período.

Como primeiro passo, verificou-se a porcentagem de setores atingidos pelos crimes (em relação ao total da cidade), e a porcentagem de ocorrências correspondentes. Considerou-se apenas crimes com número de ocorrências dos 4 anos superior ao número de setores censitários, pois garantidamente um dos setores teria ao menos duas ocorrências incidentes, também de toda a cidade¹⁰. Os resultados podem ser vistos na tabela 4.12 e indicam que há crimes concentrados na cidade, em que o total de ocorrências está em menos de 40% dos setores, como assalto a padaria (C09008), assalto a posto de combustíveis (C09031) e assalto a supermercado (C09009). A concentração também é evidenciada pelos indicadores α e R^2 , para os crimes violentos relacionados. Para a tabela 4.12, os crimes listados possuem α e R^2 aceitáveis, com o que consideramos todos como *Zipf-like*¹¹.

Esses dados indicam se há concentração em relação à cidade como um todo. Porém, ao desconsiderar os setores em que não houve nenhuma ocorrência de um certo tipo durante todo o período, pode-se medir se há um grau de concentração ainda maior dentre os setores atingidos. Busca-se, assim, *hot spots* de crimes em Belo Horizonte e, para isto, deve-se ter uma situação em que grande proporção das ocorrências se localize em poucos setores censitários. Novamente, os crimes contra transeuntes, códigos C05027 e C09027, são analisados separadamente devido à elevada incidência deste delito na região central da cidade. O fato desta área ser de exagerada circulação de pessoas pode explicar as diferenças encontradas quando comparado o percentual de ocorrências para cada um destes crimes na cidade como um todo e quando retiramos as ocorrências da região central. A circulação

¹⁰Os crimes de homicídio consumado (B04002) foram incluídos por sua importância, mesmo apresentando menos de 2.563 ocorrências nos quatro anos.

¹¹Parâmetros dessa grandeza são considerados aceitáveis por advirem de um sistema social – de maior complexidade que sistemas computacionais controlados.

Crime	Ocorrências	% de setores atingidos	α	R^2
C05027	22.579	81,9	1,021	0,912
C05027*, exceto Centro	14.894	81,7	1,021	0,912
C09027	20.805	87,4	0,899	0,840
C09027*, exceto Centro	17.448	87,4	0,899	0,840
C09004	14.275	65,4	1,065	0,870
C09010	8.404	70,8	0,809	0,861
C09018	7.143	68,9	0,796	0,865
C09008	3.843	40,1	0,792	0,869
C09031	3.465	16,9	1,115	0,861
C09009	3.006	39,1	0,731	0,875
B04002	2.146	39,0	0,613	0,916

Tabela 4.12: Concentração de crimes violentos por setores.

de pessoas no Centro da cidade favorece o crime de assalto/roubo a transeunte, formando uma área de forte concentração dos mesmos.

(*) Como a incidência destes dos crimes de código C05027 e C09027 é extremamente elevada na região do Centro da cidade, analisamos sua ocorrência na cidade como um todo e, também, o efeito quando as ocorrências do Centro são retiradas (C05027 – Centro e C09027 – Centro).

As informações para a medição de concentração dos crimes apenas nos setores atingidos da cidade de Belo Horizonte são mostradas na tabela 4.13. Alguns crimes levam a crer que sejam tipicamente concentrados em umas poucas áreas, tais como assalto a postos de gasolina (C09031), no qual 50% das ocorrências se concentram em 13,0% dos setores censitários; homicídios, com 50% das ocorrências em 21,6% dos setores; e assalto a ônibus coletivo, com 50% das ocorrências em apenas 12,1% dos setores. Porém o crime com maior destaque é o de roubos a transeunte, em que somente 4,8% dos setores são acometidos por 50% das ocorrências desse tipo. Ao desconsiderar os setores da região central, entretanto, o grau de concentração cai para 14,3% dos setores. Ou seja, os setores do Centro acentuam a concentração do crime C05027, mas a concentração permanece quando se exclui tais setores da análise.

Pode-se ainda destacar os crimes C09031, C09004 e C05027 por possuírem coeficiente α maior que 1, e B04002 por ser o crime mais importante em análises do crescimento de criminalidade violenta. Há, portanto, áreas de concentração discrepante de ocorrências desses tipos. Os gráficos em escala logarítmica desses quatro crimes podem ser vistos a

Crime	Porcentagem de setores atingidos								
	10%oc	20%oc	30%oc	40%oc	50%oc	60%oc	70%oc	80%oc	90%oc
C05027	0,1	0,2	0,6	2,0	4,8	10,2	18,4	30,8	50,5
C05027*	0,8	2,5	5,2	9,2	14,3	21,1	30,1	42,0	59,9
C09027	0,2	1,5	4,1	8,3	14,1	21,5	30,8	42,8	60,2
C09027*	1,5	4,0	7,8	12,7	18,8	26,3	35,3	46,9	63,5
C09004	1,0	2,5	4,8	7,9	12,1	17,6	25,1	35,6	52,8
C09010	1,1	3,7	7,3	12,1	18,0	25,4	34,7	47,0	64,6
C09018	1,7	4,4	8,0	12,6	18,4	25,7	35,2	47,5	65,1
C09008	1,9	4,7	8,4	13,0	18,7	25,7	34,6	46,6	65,1
C09031	0,9	2,6	5,1	8,6	13,0	18,3	25,5	34,7	50,0
C09009	2,1	5,1	8,9	13,8	19,8	27,2	36,7	49,9	70,1
B04002	1,7	4,8	9,1	14,5	21,6	31,1	41,9	57,1	78,6

Tabela 4.13: Concentração de crimes em setores atingidos (de 2000 a 2003).

seguir (figura 4.5), onde o eixo das abscissas representa os setores ordenados de acordo com o número de ocorrências que obtiveram (eixo das ordenadas). Em todos os casos, verificamos uma reta aproximada.

Foram ainda consideradas outras unidades espaciais – bairro informado, bairro geo-referenciado, companhia e unidade de planejamento. Em todos estes os casos, surpreendentemente não foram encontradas concentrações, ou seja, apenas avaliando pequenas unidades de área foram identificados *hot spots*. Os gráficos da figura 4.6 mostram as curvas de *ranking* de alguns crimes nas unidades de UP, bairro geo-referenciado e companhia. Mesmo quando há linearidade (figura 4.6(b)) aproximada na escala logarítmica, a inclinação da reta é praticamente nula, isto é, o valor de α indica que Zipf não é uma boa aproximação nesses casos. Contudo a lei de Zipf também é uma boa aproximação da concentração de crimes violentos nos setores de uma mesma companhia, isto é, para a grande maioria das companhias, há concentrações internas a elas de alguns tipos de crimes violentos. Esse resultado é de suma importância para o planejamento das atividades preventivas em cada companhia de polícia.

Para definir se os setores que tiveram maior número de ocorrências estão geograficamente localizados próximos uns dos outros, representando uma área mais extensa e única de *hot spots*, agrupamos os setores utilizando algoritmo de *clustering*, em que setores próximos uns dos outros são identificados como uma área única. Os mapas das figuras 4.7 e 4.8 mostram os agrupamentos encontrados para os mesmos crimes analisados nos gráficos das figuras 4.5(a) e 4.5(b), respectivamente. Os *hot spots* correspondem às áreas mais escuras.

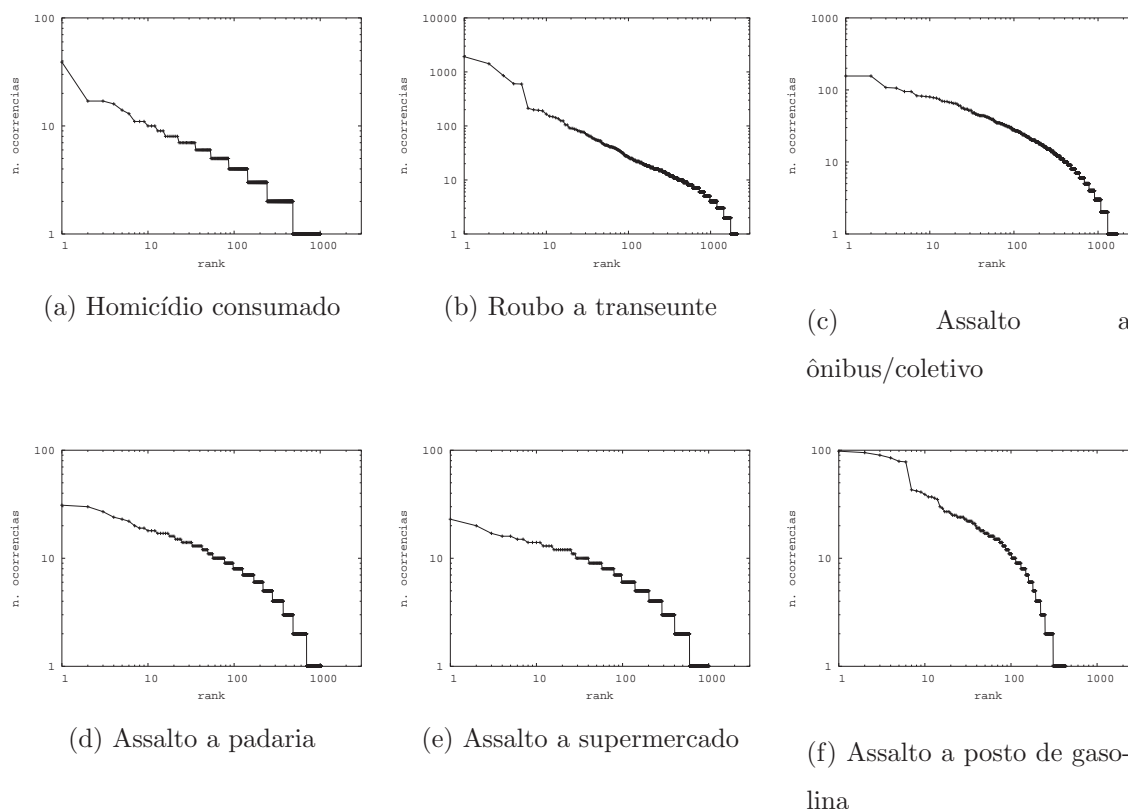


Figura 4.5: Classificação de setores por crimes, segundo o número de ocorrências.

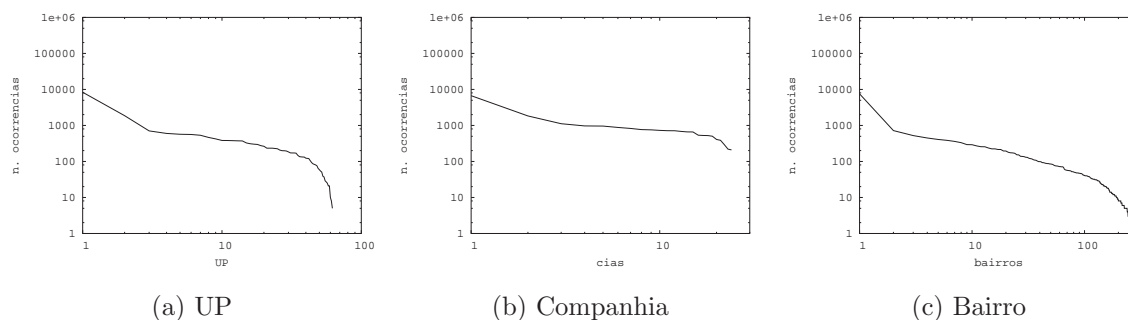


Figura 4.6: Não concentração de roubos a transeunte para algumas unidades espaciais.

Além de focalizados, os lugares atingidos concentram um número de ocorrências na proporção indicada pelos parâmetros de Zipf encontrados, o que denota discrepância com as demais áreas. É interessante notar que há correspondência dos homicídios em regiões de favelas, enquanto os roubos a transeunte (crime contra o patrimônio) concentram-se em áreas vizinhas às favelas [22].

Além da identificação de *hot spots*, a tendência de crescimento temporal dos crimes violentos (figura 1.1) e concentração espacial, que encontramos ao analisar os dados de crimes para a cidade de Belo Horizonte, impulsionou análises para a verificação de um

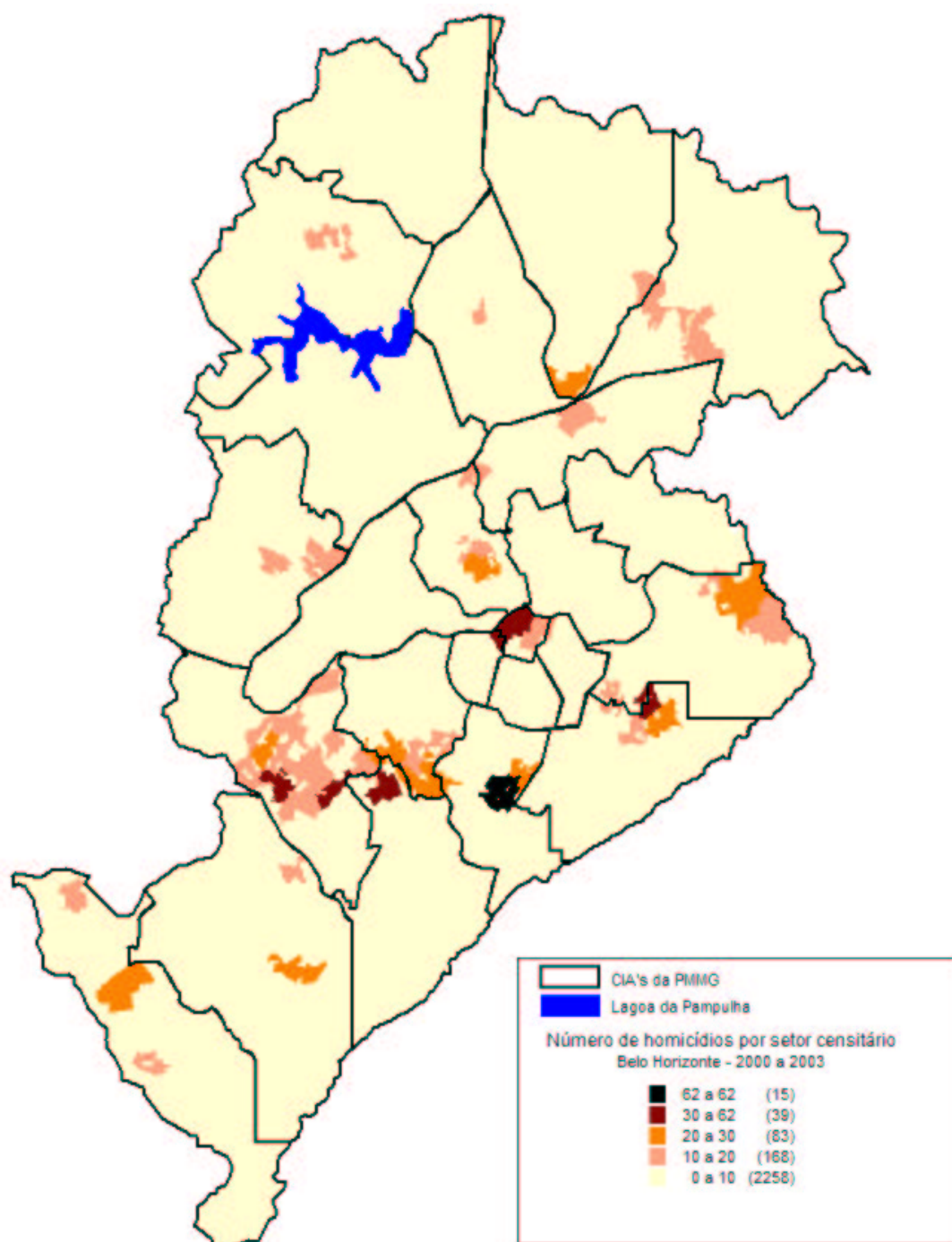


Figura 4.7: Mapas de concentração de homicídios - Zipf e *clustering*.

possível efeito de **contaminação por vizinhança**.

Define-se **contaminação por vizinhança** como a incidência de crimes em regiões anteriormente não afetadas e vizinhas de *hot spots*. Isto é, dado que ocorreu o crime do tipo X no setor i no ano a , mede-se a probabilidade de ocorrer o crime X no setor $j + 1$ (vizinho de j) no ano $a + 1$, sendo que não houve incidência de X em $j + 1$ no ano a .

Fizemos esta análise para alguns crimes que chamaram atenção em função de sua

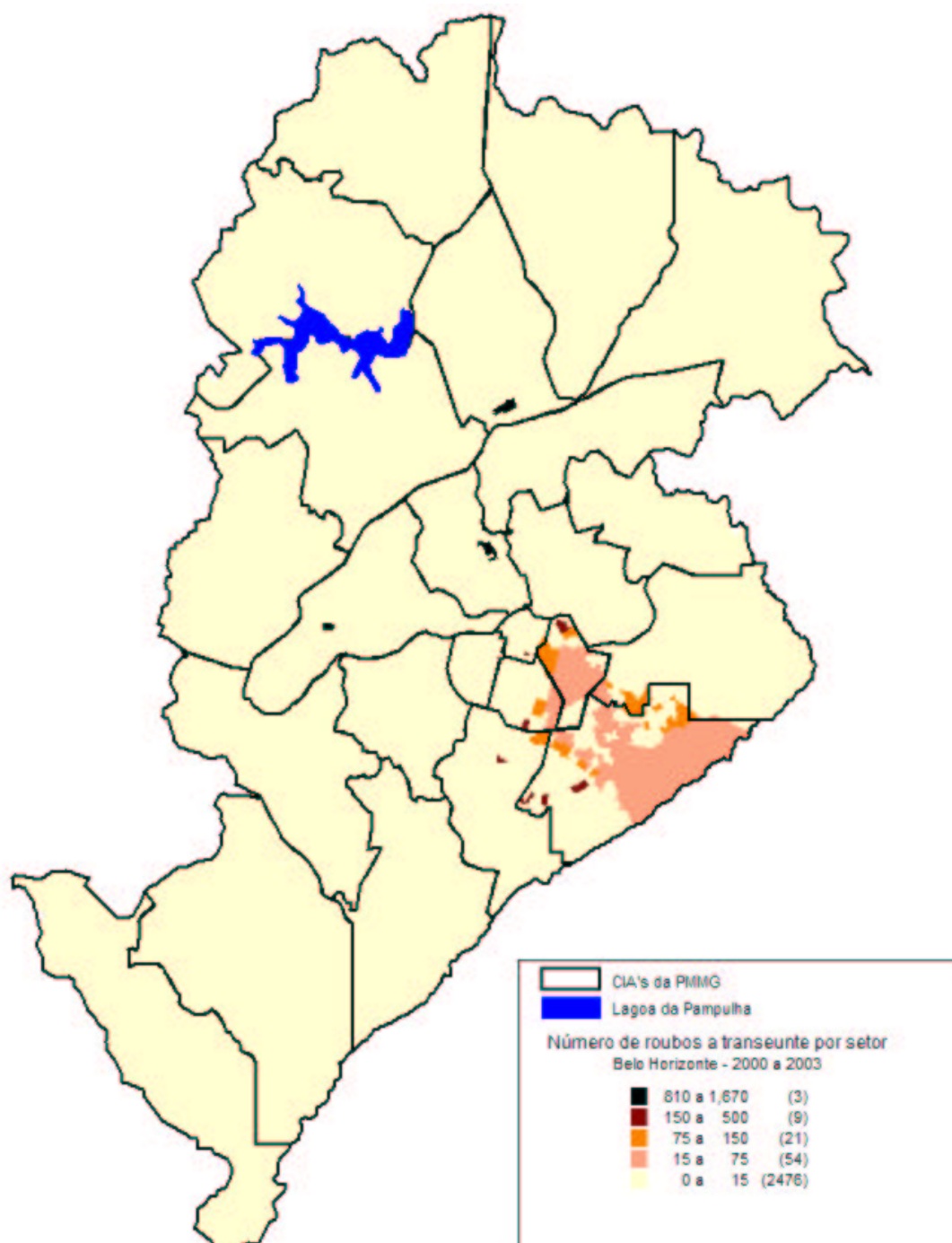


Figura 4.8: Mapas de concentração de roubos a transeunte - Zipf e *clustering*.

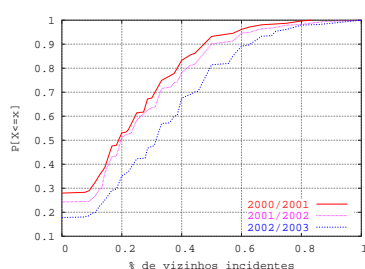
evolução e gravidade social. Como se pode observar na tabela 4.14, à medida que o número de ocorrências aumenta com os anos, também aumentam o número de setores censitários em que foram registradas ocorrências de diferentes tipos de crimes.

Para verificar se o aumento no número de setores atingidos correspondeu à contaminação por vizinhança, ou se os setores “novos” estão espalhados em regiões distantes dos *hot spots*, calculamos a probabilidade acumulada da porcentagem de vizinhos inciden-

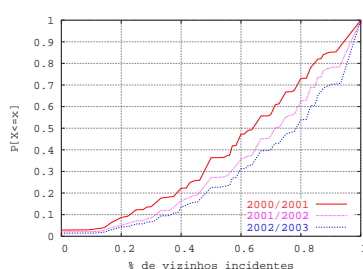
Crime	2000	2001	2002	2003
C05027	1.184	1.252	1.422	1.549
C09027	1.380	1.362	1.612	1.855
C09004	886	987	988	1.198
C09010	995	1006	936	1.175
C09018	711	777	919	1.293
C09008	480	446	481	631
C09031	242	240	222	282
C09009	447	424	424	530
B04002	311	334	388	513

Tabela 4.14: Número de setores atingidos por crimes, anualmente.

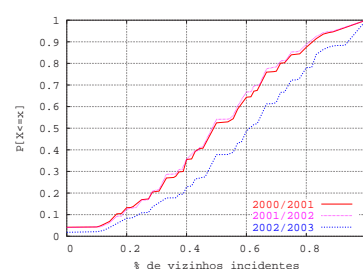
tes, para cada par $(a, a + 1)$ de anos, mostrada nos gráficos da figura 4.9.



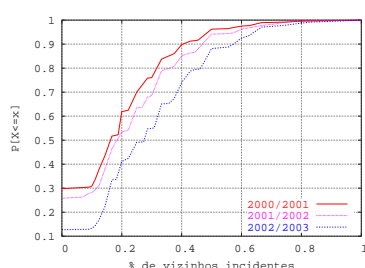
(a) Homicídio consumado



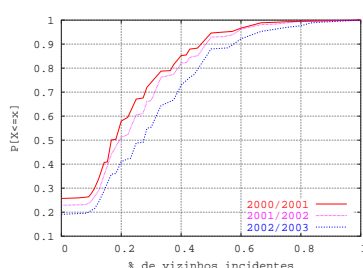
(b) Roubo a transeunte



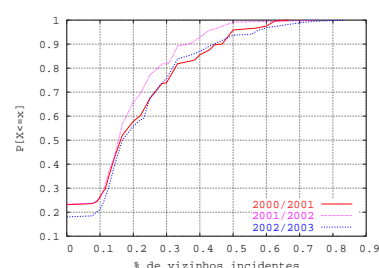
(c) Assalto a ônibus



(d) Assalto a padaria



(e) Assalto a supermercado



(f) Assalto a posto de gas.

Figura 4.9: Distribuição acumulada das porcentagens de setores vizinhos atingidos no ano consecutivo.

Vamos analisar cuidadosamente os crimes B04002 (figura 4.9(a)) e C05027 (figura 4.9(b)). Como pode ser visto, 50% dos setores que registraram homicídios no ano 2000 obtiveram até 20% de setores vizinhos incidentes no ano seguinte (sem que fossem registradas ocorrências desse delito nesses vizinhos em 2000). Para roubos a transeunte, 50% dos setores atingidos em 2000 obtiveram até 60% de vizinhos (não atingidos em 2000) incidentes

tes em 2001. Isso indica que as regiões onde ocorrem homicídios expandem-se em menor velocidade que roubo. Em ambos os casos, ainda podemos notar que a contaminação tende a crescer ao longo dos anos. As análises similares podem ser feitas para os outros crimes mostrados.

Caracterizações espaciais para outros crimes e regiões podem ainda ser feitas utilizando o ferramental desenvolvido durante este trabalho e aplicados a fim de se conhecer as concentrações dos mesmos em extensões territoriais. Por sua vez, o conhecimento da concentração de ocorrências em regiões específicas e da forma como os crimes se comportam ao longo do tempo em relação à ocupação territorial pode ser diretamente aplicado na elaboração de políticas de prevenção ao crime. E possui impacto direto no planejamento do policiamento preventivo.

4.5.3 Sumário

Propusemos uma técnica de identificação de *hot spots* pela aplicação da Lei de Zipf e *clustering*, alternativa aos métodos atualmente utilizados. As vantagens para uso do método proposto estão em:

1. Definir numericamente os *hot spots*, sem necessidade de inspeção visual de mapas.
2. Encontrar as zonas quentes e determinar quão discrepantes são as concentrações encontradas, através dos parâmetros da Lei de Zipf.
3. Determinar precisamente as regiões de concentração, sem interferência em regiões vizinhas e pouco/não atingidas.

Ao aplicar o método proposto, identificamos que há concentrações de alguns crimes violentos em setores censitários. Porém, não foram encontradas concentrações em unidades de área maiores, como bairros, companhias e unidades de planejamento. Em especial para a unidade de companhias, isso demonstra que não há desbalanceamento de carga (número de ocorrências incidentes) entre elas, apesar de dentro das companhias isoladamente existem, seus setores, concentrações de crimes.

Por fim, as análises da expansão dos crimes ao longo do tempo mostram que alguns deles possuem expansão de *hot spots* mais acentuada que outros, como para os crimes de roubos a transeuntes. Para os crimes cuja contaminação por vizinhança é mais freqüente, o trabalho da polícia em conter o avanço deles pode ser focalizado nas regiões já atingidas e, em especial, nos limites dos *hot spots*.

Os resultados da caracterização espacial são aplicáveis diretamente na prevenção de crimes, e também para proposição de políticas de balanceamento de carga e alocação de recursos para atendimento reativo, por localizar as regiões de maior demanda de crimes de

maior gravidade. Tais crimes dependem de atendimento rápido por possuírem potencial para agravamentos.

Com base na caracterização completa das ocorrências policiais, propomos políticas de alocação e despacho de recursos que melhor os utilizem e até mesmo melhorem o serviço prestado pela população. As políticas lidam com pontos de decisão, de acordo com a necessidade de gerência e aproveitamento de recursos ociosos, bem como a escolha de atendimentos prioritários ou que minimizem o tempo de resposta da polícia aos chamados da população. Essas políticas serão descritas no próximo capítulo.

Capítulo 5

Políticas de Alocação de Recursos

A caracterização apresentada no capítulo 4 mostrou as características das ocorrências policiais, tanto da forma como surgem no espaço, quanto no tempo. Há portanto dois desafios que se apresentam em seguida: como melhor utilizar os recursos disponíveis e melhor atender a população de toda a cidade?

Veremos agora a abordagem adotada para tratar o problema de alocação e despacho de recursos, bem como propostas de soluções baseadas em teorias computacionais clássicas. Abordaremos especificamente o policiamento reativo, ou seja, aquele que envolve uma reação da polícia à solicitação de um cidadão, dado que a ocorrência já aconteceu ou está se desenrolando. Não está no escopo desse trabalho propor políticas para o policiamento preventivo (patrulhas, procedimentos etc), porém a definição de estratégias de atendimento reativo eficiente permitem maior satisfação da população com relação aos serviços da polícia e a liberação de contingente policial para atividades preventivas.

5.1 Problema e Abordagem

A alocação espacial de viaturas para atendimento reativo é feito por companhias. Assim, cada companhia possui um efetivo policial, do qual parte é disponibilizada para patrulhamento ostensivo, parte para atendimento de solicitações (reativo – foco deste trabalho). A quantidade de policiais pode variar de acordo com a gravidade da ocorrência, porém adotamos a premissa de que uma ocorrência é sempre atendida por uma viatura com dois policiais. No caso de todas as viaturas de uma companhia estarem ocupadas e uma nova solicitação for feita na região por ela atendida, é preciso aguardar em uma “fila” até que uma das viaturas torne-se novamente disponível. Ainda que outras companhias estejam com recursos ociosos, a jurisdição deve ser respeitada, a menos que a ocorrência entrante seja de alta gravidade. Nesses casos, uma frota independente (não atribuída a uma determinada

companhia) pode reforçar o atendimento.

Este esquema de alocação de recursos é de fácil gerenciamento e busca atender às diversas regiões da cidade. Porém, mesmo que regiões de maior intensidade de ocorrências tenham à disposição mais recursos que outras menos atingidas, mudanças de demanda ou “carga” momentâneas não são acompanhadas por um balanceamento de recursos de toda a cidade. Em uma situação semelhante à descrita anteriormente, em que uma chamada espera em fila, pode haver o aumento no tempo de espera do solicitante, mesmo havendo recursos disponíveis para atendimento. Logo, há um potencial de uso do efetivo não atingido. Melhores estratégias de alocação dos recursos, desde que viáveis, podem garantir a manutenção do nível de atendimento mesmo em condições adversas, ou se houver impedimento em aumentar o número de policiais e viaturas da corporação. Portanto, deve-se tomar uma decisão entre promover o compartilhamento dos recursos entre as companhias, e diminuir o custo administrativo de gerências das viaturas e o custo de deslocamento destas na cidade.

Uma vez definida a alocação de recursos entre as companhias, outro questionamento está em como cada companhia deve proceder no despacho de suas viaturas. Ou seja, quais ocorrências devem ter prioridade de atendimento. Supomos que haja uma relação utilizada pela Polícia Militar, porém não ela não é divulgada publicamente. Consideramos como cenário básico, assim, que as ocorrências são atendidas em ordem de chegada e proporemos outras políticas de despacho alternativas.

No entanto, caso haja ocorrências prioritárias, qual o impacto do atendimento diferenciado nos indicativos da qualidade do serviço da PM? De que forma a priorização pode ser implementada sem prejudicar o atendimento das ocorrências não-prioritárias? A decisão a ser tomada está entre otimizar o atendimento provido pelo sistema, indistintamente do tipo das ocorrências, e atribuir prioridade a tipos de maior gravidade, deteriorando o atendimento das demais ocorrências. A importância de beneficiar as ocorrências de maior gravidade está no fato de que quanto mais rápido o atendimento, menor a chance de que o delito evolua. Por exemplo, o pronto atendimento a um assalto (roubo a mão armada) pode evitar que o mesmo se transforme em homicídio consumado. Entretanto eventos considerados de importância reduzida não podem ser completamente ignorados, ou serem prejudicados sem que se atinja um benefício justificável das demais. Em contrapartida, desconsiderar as prioridades de ocorrências pode representar melhor atendimento médio (agregado) de todos os chamados que chegam ao sistema. Atingir um ponto razoável entre os dois extremos deve ser um objetivo da organização policial.

São propostas nesta dissertação políticas de alocação e despacho que considerem essas necessidades, de maneira que se possa avaliar qual(is) melhor se adequa(m) aos interesses da Polícia Militar. Descrevemos a seguir essas políticas, definidas em analogia a políticas de alocação de canais de frequência em sistemas de telecomunicação móvel[45], escalona-

mento de tarefas em sistemas computacionais [46, 47, 48, 49, 50] e envio de pacotes em redes [52]. Constitui uma abordagem **hierárquica**, atacando o problema da alocação espacial dos recursos¹ no nível das companhias, e em seguida no atendimento dos chamados em cada uma. São políticas básicas que permitem futuras proposições híbridas (em cada categoria separadamente). Além disso, a combinação eficiente das duas frentes proporciona um melhor atendimento e uso de recursos (segundo métricas definidas na seção 5.2). Inclusive, minimiza o consumo de recursos no atendimento reativo permitindo o deslocamento contingente para ações preventivas.

A partir da implementação de um ambiente de simulação, mostraremos no capítulo 6 os resultados obtidos para cada política e indicaremos as mais apropriadas para os cenários analisados.

5.2 Métricas de Avaliação

Existem três métricas primárias na avaliação do atendimento da polícia a chamadas ao Disque 190:

1. Tempo médio de espera em fila por ocorrência.
2. Número de ocorrências canceladas por falta de viatura.
3. Média de viaturas ocupadas por unidade de tempo.

A primeira métrica reflete o tempo que a ocorrência aguarda até que seja sua vez de ser atendida e que haja uma viatura para servi-la. Associada ao tempo médio de espera, uma métrica secundária também é utilizada, correspondente ao número de ocorrências que foram colocadas em fila, isto é, que chegaram ao sistema no momento em que todas as viaturas estavam ocupadas. Se o tempo de espera de uma ocorrência atinge um limite (consideramos como 24 horas), ela é descartada da fila e dita cancelada. A segunda métrica é, assim, a mais crítica porque significa não servir um cidadão, devendo ser evitada.

O tempo médio de espera em fila e o número de ocorrências canceladas podem ser medidos para o sistema como um todo, ou fazendo distinção por classes de ocorrências (e também por companhias).

A terceira métrica está relacionada com o consumo de recursos e quão bem eles estão sendo aproveitados pelo sistema. Assim, se há demanda por viaturas e existe um percentual ocioso, deve-se buscar utilizar racionalmente tal percentual em favor do melhor atendimento da população. O tempo médio de viaturas ocupadas também indica se há excesso de viaturas, ou seja, se é possível fazer o melhor com menos recursos, liberando-os

¹Os termos viaturas e recursos serão utilizados sem distinção, como simplificação por se tratar de policiamento reativo.

para outras atividades da polícia. A métrica pode ser avaliada para todo o sistema e para cada companhia que o compõe, facilitando a identificação de desbalanceamentos entre as unidades.

5.3 Alocação de Viaturas

O primeiro problema que envolve o sistema de atendimentos está em como distribuir os recursos existentes entre as diversas unidades de atendimento (companhias). Uma vez que a cidade de Belo Horizonte é dividida em companhias e elas são as responsáveis pelo atendimento de ocorrências que surgem em seus limites, esse cenário é bastante parecido com o utilizado para cobertura de frequência em computação móvel, especialmente em telefonia celular[45]. Nesse caso, a extensão territorial a ser coberta é dividida em células, cada qual possuindo uma estação rádio base **ERB**. As ERB's possuem uma faixa de frequência de trabalho, sendo dividida em canais. Os canais são os meios pelos quais os usuários da rede realizam chamadas. Podemos por analogia considerar as companhias como ERB's, o limite territorial como as células, e os canais como viaturas².

Mostraremos a seguir as políticas propostas para alocação espacial das viaturas.

5.3.1 Alocação Estática Homogênea

Considerando que todo o sistema possui V viaturas (recursos) para policiamento reativo e N companhias, uma distribuição uniforme dos recursos atribui a cada companhia V/N viaturas. Se essa quantidade permanece inalterada ao longo do tempo, a alocação comporta-se tal como a distribuição fixa e uniforme de canais entre células, que chamaremos de alocação **homogênea**. Ela é de fácil implementação e de gerência bastante simples, pois cada companhia “cuida” de uma área reduzida e não há compartilhamento, e mostra-se bastante eficiente se a distribuição da demanda é aproximadamente uniforme. Entretanto, a divisão homogênea não considera as características de cada local, em que podem existir diferentes demandas por policiamento. Este é o caso das companhias de Belo Horizonte, como visto na seção 4.5, em que há diferença entre o número de ocorrências recebidas por companhia, ainda que não haja concentração acentuada (Lei de Zipf).

5.3.2 Alocação Estática Heterogênea

Se as ocorrências são originadas de maneira não uniforme, a alocação homogênea pode gerar sobrecarga das companhias mais solicitadas e o desperdício de recursos nas demais.

²Não se aplica ao contexto desse trabalho a restrição presente na alocação de canais de comunicação em que há frequências conflitantes entre canais de uma mesma célula e de células vizinhas.

Assim, deve-se buscar distribuir as viaturas de acordo com a “carga” imposta aos componentes do sistema, mesmo que assinaladas estaticamente. A alocação não-uniforme ou **heterogênea** estática pode considerar, por exemplo, a carga histórica das companhias e distribuir os recursos de acordo com a demanda esperada em cada uma. Nesse caso, companhias com maior “carga” em um dado ano recebem mais recursos para atendimento no ano seguinte, o que pode resultar na diminuição do número de solicitações em espera, o tempo em que permanecem na fila, e permitir um melhor aproveitamento das viaturas.

A alocação não-uniforme também aplica-se nos sistemas celulares, uma vez que pode haver diferenças muito acentuadas entre células de tráfego intenso (por exemplo, centros comerciais) e de demanda leve (como parques, regiões pouco urbanizadas)[57, 58]. Entretanto se a alocação é estática, a política não acompanha flutuações que porventura aconteçam em pequenos intervalos de tempo.

5.3.3 Alocação com Empréstimo Ilimitado

Flutuações momentâneas na carga não são atendidas pelas alocações estáticas, tanto homogênea quanto heterogênea. Em sistemas de telefonia móvel, esquemas de empréstimo (*Channel Borrowing Schemes*) permitem que células, que já tenham todos seus canais ocupados, tomem por empréstimo canais disponíveis em células vizinhas e compatíveis com as frequências da ERB. Após o uso do canal emprestado, ele é devolvido à célula de origem (doadora).

A seção 4.5 mostra que não há concentrações acentuadas de ocorrências de crimes no nível das companhias, estando presente somente na granularidade de setores. O compartilhamento parcial de recursos, definido pelo **empréstimo** de viaturas por companhias menos sobrecarregadas, pode ser aplicado como nas células de comunicação, com a vantagem de não haver restrição no tipo de viatura a ser emprestado. O empréstimo favorece o maior uso dos recursos e proporciona um balanceamento dinâmico das viaturas, acompanhando a variação da taxa de chegada inesperada. O empréstimo de viaturas pode ser aplicado em conjunto com a alocação homogênea, ou com a heterogênea, contudo avaliaremos apenas esta última situação. Em adição, não está limitada à vizinhança, podendo ser estabelecida de acordo com a conveniência e consentimento das companhias, por exemplo, por batalhão, por proximidade, por decisões específicas da corporação etc. A decisão somente acarreta maior custo de deslocamento caso definida entre companhias muito distantes entre si, já que a viatura emprestada deve deslocar-se de sua companhia de origem até o local do evento (em outra companhia).

Do conjunto de companhias “sócias” – que permitem empréstimo de suas viaturas para a companhia em questão – a escolha daquela que fará o empréstimo, caso haja mais de uma em condição para tal, pode ser feita: 1) pela companhia com a viatura mais

próxima do evento; 2) pela companhia com mais viaturas livres (em número absoluto ou em porcentagem desocupada, *Borrow from the Richest*[59]); 3) por ordenação prévia das candidatas. A primeira opção evita deslocamentos de maior custo, porém não pode ser por nós avaliada pela falta de dados sobre o posicionamento das viaturas. A segunda opção, adotada neste trabalho, conduz a um balanceamento mais justo, por não estressar sempre as primeiras companhias candidatas, como no caso de ordenação.

5.3.4 Alocação com Empréstimo Limitado

A política de empréstimos constitui a quebra momentânea da alocação fixa de viaturas, porém pode conduzir ao prejuízo de companhias de carga uniforme no tempo e de menor intensidade. Tais companhias podem ser solicitadas ao empréstimo com muita frequência, ocasionando o aumento das ocorrências em fila de sua própria responsabilidade. Isto é, uma companhia passa a atender mais ocorrências de suas sócias em detrimento de suas próprias ocorrências. No pior caso, a companhia em questão pode gerar um efeito circular, mostrado na figura 5.1: as companhias esgotam seus recursos ao cederem empréstimos e precisam fazer novos empréstimos para atender suas próprias ocorrências. Uma forma de impedir que o ciclo se estabeleça é limitar o número de empréstimos permitidos. Dessa maneira, o **empréstimo limitado** impede que uma companhia ceda viaturas para suas sócias caso atinja uma porcentagem L pré-definida de ocupação, criando, pois, uma reserva de viaturas para atendimento próprio.

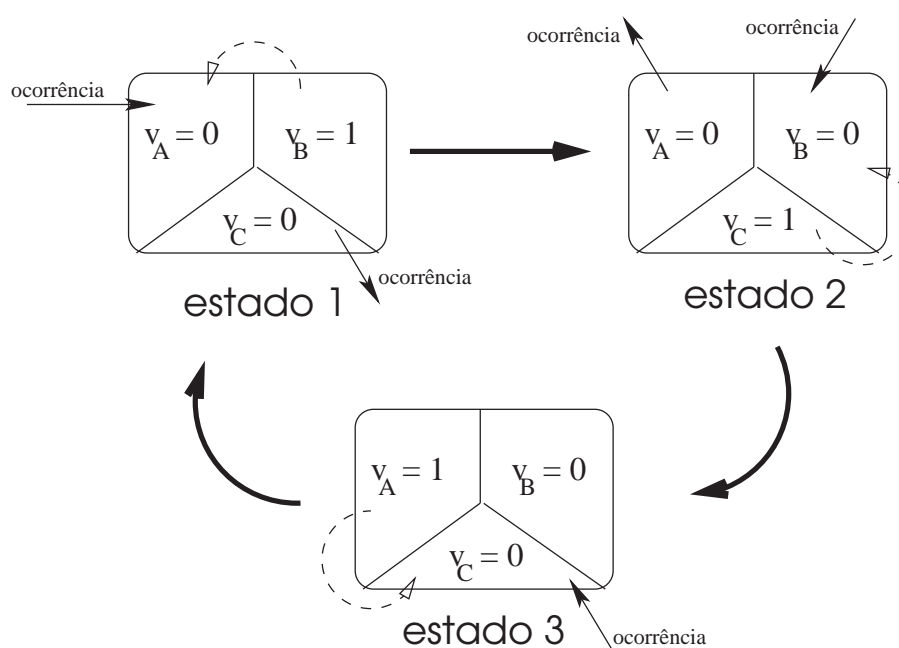


Figura 5.1: Empréstimo circular de viaturas.

5.3.5 *Pool de Recursos*

Por fim, consideramos o atendimento ideal (e inalcançável) em que todas as viaturas estão disponíveis para um comando central ou *pool*, isto é, há compartilhamento total dos recursos. Assim, o comando deixa de ser descentralizado e toda solicitação que chega à central de processamento poderá ser atendida por quaisquer das viaturas dispostas e disponíveis na cidade para policiamento reativo. A política não é viável por considerar toda viatura disponível como candidata para o atendimento, independente de sua posição geográfica em relação ao local do evento (suposto deslocamento mínimo). Apesar de não realista, a política de alocação em *pool* estabelece um limite superior de eficiência que as demais políticas poderão atingir, uma vez que estabelece o compartilhamento total de recursos e desconsidera o custo de deslocamento das viaturas para chegarem ao local da ocorrência.

5.4 Despacho de Viaturas

Após apresentar políticas de alocação dos recursos entre as companhias, atingimos o segundo nível da hierarquia, no qual se define como alocar as viaturas para os atendimentos das ocorrências em cada companhia. Uma vez que não há informação do número de viaturas disponíveis em cada companhia e do posicionamento geográfico em *LOGGEO* da(s) viatura(s) que atendeu(ram) cada chamada, consideramos todas as viaturas da companhia que recebe a solicitação igualmente elegíveis para atender as ocorrências. Concentramo-nos na escolha da ocorrência a ser atendida em caso de recursos limitados e chamadas em espera.

Existem dois objetivos, por vezes contraditórios, para proposição dessas políticas. Primeiramente, é importante realizar os atendimentos tornando maior a satisfação da população. Nesse caso, o principal fator que caracteriza essa satisfação é a rapidez com que a polícia responde a um chamado (pela percepção do cidadão, significa o tempo reduzido do tempo de ativação – figura 3.2). Há duas formas de minimizar o tempo de ativação: pela diminuição dos deslocamentos das viaturas, escolhendo aquela mais próxima do local do incidente; e pela diminuição do tempo de espera. Como desconhecemos a posição das viaturas do sistema no momento da alocação daquela que realizará o atendimento, consideramos políticas que minimizem o tempo médio de espera em fila de todas as ocorrências recebidas.

O segundo objetivo é assegurar que ocorrências graves sejam rapidamente atendidas, mesmo que para isso seja preciso depreciar o serviço oferecido às demais. Apesar de poder aumentar o tempo médio de espera do sistema, podendo também não atender às expectativas dos cidadãos, o atendimento prioritário controla e combate as ocorrências de maior

gravidade e que afetam diretamente a segurança da população.

A seguir, são apresentadas as políticas propostas que atendem a pelo menos um dos requisitos citados acima.

5.4.1 Atendimento por ordem de chegada

À medida que as chamadas chegam à central de processamento, as viaturas disponíveis são alocadas para atendimento das mesmas. Quando solicitações são feitas e não há recurso livre para o atendimento, elas devem ser enfileiradas para aguardar a liberação de viaturas pelo encerramento das ocorrências ativas. O enfileiramento mais simples é aquele por ordem de chegada. Dessa forma, a primeira ocorrência a entrar na fila será a primeira a ser atendida quando uma viatura for desocupada. Esse escalonamento é também conhecido como *first-come, first-served* ou **FIFO**, *first-in, first-out*.

A política em princípio evita que processos (ocorrências) não sejam servidos pelo sistema (inanição), porém não garante o menor tempo de espera pelas chamadas e o menor tempo total de ocupação das viaturas, indicando que é possível melhorar tais resultados. Em sistemas com um único recurso, o tempo de ocupação do mesmo independe da ordem de atendimento. Havendo múltiplos servidores, como no caso do atendimento de ocorrências, o tempo necessário para servir um conjunto de eventos pode variar de acordo com as designações feitas aos servidores. A figura 5.2 ilustra o atendimento de um conjunto de ocorrências. Nesse exemplo, há uma viatura e cada ocorrência possui indicado um tempo de ocupação do recurso. Neste caso, o tempo médio de espera observado pelas ocorrências foi de 22,0 minutos.

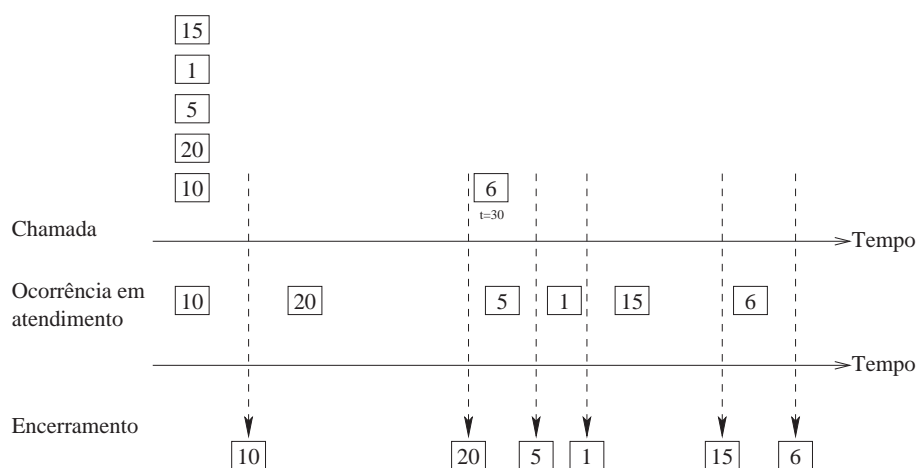


Figura 5.2: Exemplo de atendimento por tempo de chegada FIFO.

5.4.2 Atendimento por Prioridades

Em atendimentos por prioridade, eventos recebem uma classificação. Cada classe pode possuir sua própria fila de espera. Ao liberar um recurso, a próxima ocorrência da fila de maior prioridade deverá ser atendida. Apenas quando essa fila torna-se vazia, a classe seguinte poderá ser atendida.

Admite-se que atender solicitações de maior gravidade em antecedência de outras menos graves seja uma prática usual das polícias, porque algumas podem evoluir ou simplesmente causar maior dano à vítima (por exemplo, assalto tornando-se tentativa de homicídio), o que poderia ser minimizado se os policiais chegassem ao local do delito com rapidez. Isso justifica utilizar filas de prioridade na escolha da ordem de atendimento. A figura 5.3 mostra o atendimento das ocorrências de acordo com a classificação que possuíam (ocorrências nos quadros mais escuros são prioritários), considerando desempate entre ocorrências de mesma prioridade de acordo com o tempo de chegada (figura 5.3(a)) e pelo tempo de ocupação previsto (figura 5.3(b)). O tempo médio de espera, em cada caso, é de 26,0 min (desempate pela chegada) e 24,5 min (desempate pelo tempo de ocupação). Contudo o tipo prioritário tem o tempo de espera médio bastante reduzido, 13,3 min e 11,6 min, respectivamente.

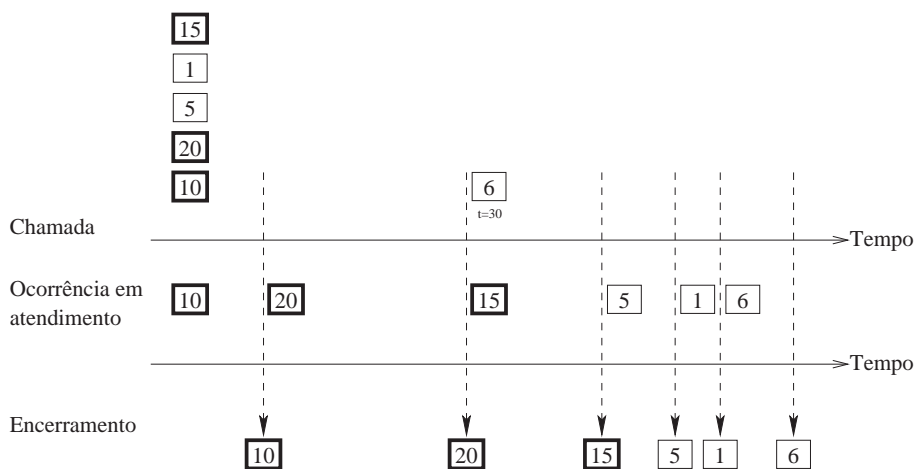
Portanto, o tempo de espera das ocorrências prioritárias tenderá a cair, enquanto as demais aguardarão o momento em que não houver ocorrências nas filas mais graves que elas.

Aplicar a política de prioridades não evita a inanição de ocorrências menos prioritárias. Para contornar o problema, é possível definir políticas de envelhecimento que aumentam a prioridade de uma ocorrência de acordo com seu tempo de espera na fila. Por exemplo, a cada T_e minutos, a prioridade da ocorrência será incrementada de 1, impedindo que ela aguarde atendimento além do limite definido e seja cancelada por falta de recursos.

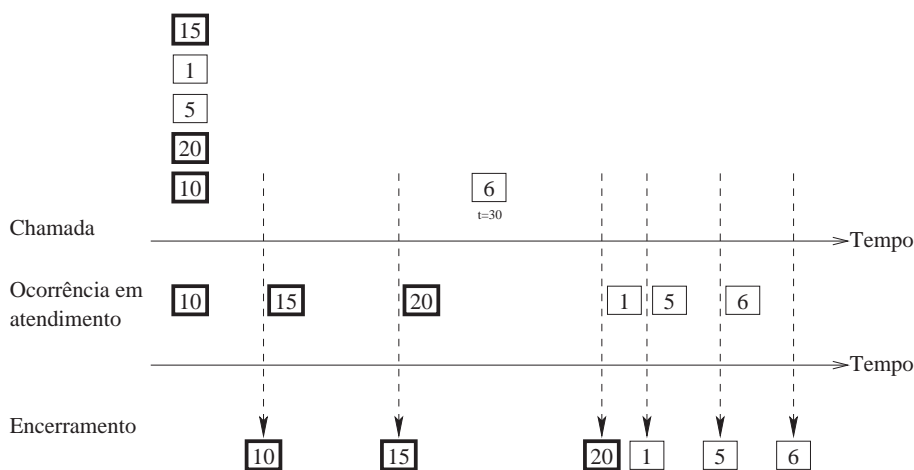
5.4.3 Atendimento Circular Ponderado em Filas de Prioridade

Uma alternativa à priorização com envelhecimento é o uso de múltiplas filas com atendimento circular ponderado. O intuito permanece sendo o de atender as ocorrências de acordo com suas prioridades, porém diminuindo a possibilidade de inanição. A política toma como base o atendimento circular (não ponderado) chamado de *round robin*.

Na estratégia de *round robin*, os eventos são colocados em filas de acordo com sua prioridade, tal como descrito na seção 5.4.2. No entanto, as filas são servidas de forma alternada, ou seja, serve-se um evento da primeira classe, em seguida um da segunda, e assim por diante até retornar à primeira classe. Se a fila de uma classe está vazia, o algoritmo passa imediatamente à próxima classe. Este algoritmo é aplicado, por exemplo, para o envio de pacotes através de uma ligação de rede [52]. Ele garante que o *link* nunca



(a) Prioridade com desempate em FIFO



(b) Prioridade com desempate no tempo de ocupação

Figura 5.3: Exemplo de atendimento por prioridade.

esteja desocupado havendo pacotes (de qualquer classe) para serem transmitidos, sendo considerado por essa razão um algoritmo *work-conserving queueing*[52].

O enfileiramento ponderado e justo acrescenta à definição do algoritmo de *round robin* o conceito de pesos. Chamado de *Weighted Fair Queueing*, o enfileiramento ponderado determina que cada fila de prioridade i receberá um diferencial de atendimento da ordem de f_i – o peso à ela atribuído –, referente ao tempo de uso do serviço [53, 54]. A figura 5.4 ilustra o mecanismo da política de atendimento circular de filas ponderadas (CFP). O tempo médio de espera de todas as ocorrências é de 24,3 min, enquanto que aquelas prioritárias aguardaram em média 15,0 min. Assim, para o exemplo de pacotes sendo transmitidos, a fila prioritária será atendida pelo tempo f_1 . Em seguida, a fila segunda classe será atendida por um tempo f_2 , e assim em diante, tal como no algoritmo de *round robin*. No caso de ocorrências policiais, que não possuem o mesmo tempo de ocupação e

podem ocupar o recurso por tempos diversos, podemos considerar o peso como o número de ocorrências que deverão ser atendidas de uma certa fila i quando for o seu momento de uso. Isto é, se houver duas filas de prioridade de pesos de $f_1 = 5$ e $f_2 = 1$, para cada ocorrência da classe 2 servida, 5 da classe 1 serão atendidas (no caso de haver, em uma mesma “rodada”, cinco ou mais ocorrência da classe 1 e uma ou mais da classe 2).

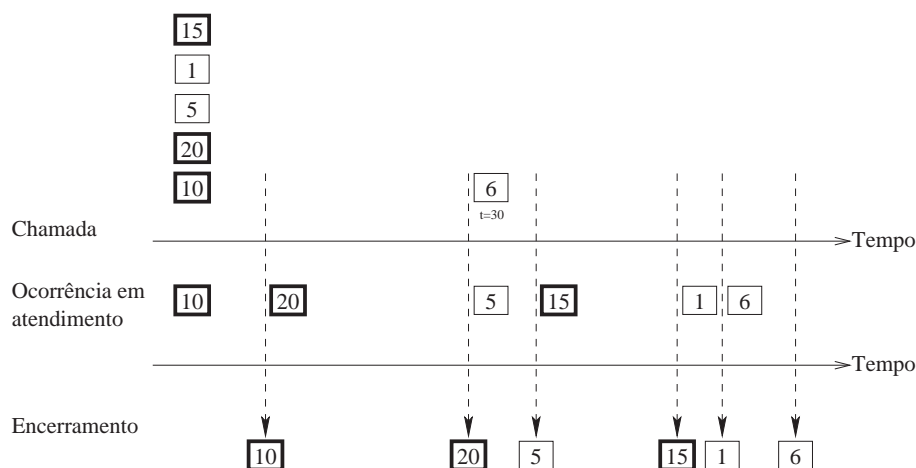


Figura 5.4: Exemplo de atendimento por prioridades ponderadas.

Este esquema de despacho é comumente encontrado em arquiteturas de transmissão de pacotes em redes que devem prover qualidade de serviço QoS [60]. Ele garante que cada classe i recebe um fator f_i e, durante qualquer intervalo de tempo em que houver eventos a serem atendidos da primeira classe, esta terá a garantia de ser servida por tempo equivalente a $f_i / (\sum_{j \neq i} f_j)$, onde j são as demais classes. Os pesos atribuídos e o atendimento circular definem prioridades, estabelecem quantidades mínimas de atendimento (e previsíveis matematicamente) e impedem que a classe de menor peso sofra inanição.

5.4.4 Atendimento por Tempo de Ocupação Previsto

O atendimento prioritário tende a diminuir o tempo de espera das ocorrências privilegiadas, porém tende a depreciar o tempo médio geral de espera. Se a intenção é de minimizar o tempo de espera das ocorrências como um todo, promovendo a satisfação dos cidadãos que são atendidos em média com maior rapidez, pode-se adotar uma política que, mesmo desconsiderando prioridades de naturezas, seja de interesse por minimizar o tempo de espera por atendimentos.

Uma abordagem presente em escalonamento de CPU é o algoritmo de “menores primeiro”, *shortest job first* (SJF) [46, 47]. Esse algoritmo associa a cada processo um tamanho de acordo com o tempo de processamento. Quando o processador está disponível, ele executa o processo de menor tamanho. Caso haja processos de mesmo tamanho, o desempate pode ser feito pela ordem de chegada, por exemplo, ou por qualquer outro mecanismo. No

contexto de atendimento de ocorrências, o tempo de processamento corresponde ao tempo de ocupação de recursos. No seção 4.4.2, vimos que há diferenças dos tempos médios de ocupação das ocorrências, de acordo com a natureza e a companhia correspondentes. Este fato pode ser aproveitado para utilização do algoritmo de SJF no despacho das viaturas.

O algoritmo de SJF é provado ótimo para garantir o tempo médio de espera mínimo para um conjunto de eventos. Antecipando um processo pequeno em detrimento de um longo, o tempo de espera dos processos privilegiados provoca maior decaimento no tempo médio do que incrementa o tempo de espera dos maiores. Esse resultado é ainda mais ressaltado se houver mais processos pequenos em geral. Isso significa que, no contexto de ocorrências policiais, os cidadãos aguardarão em média menos tempo na fila, ficando mais satisfeitos com a rapidez no atendimento provido pela polícia (impressão resultante do decaimento do tempo de ativação). A sensação de segurança resultante do sentimento de eficiência da polícia pode ser disseminada em toda a população. A percepção de que a cidade está mais segura a torna menos atraente para atividades criminosas, provocando indiretamente a diminuição de crimes.

A principal dificuldade em utilizar SJF para o escalonamento de processos é determinar o tempo de execução dos mesmos. Para escalonamentos de tarefas em sistemas *batch*, o usuário que submete um processo informa o tempo aproximado de processamento e é encorajado a fazê-lo com maior precisão. Isso o favorece durante o escalonamento, pois o posiciona no início da fila (caso seja “pequeno”) e impede que a execução seja abortada antes do fim (previsão menor que a realidade). Tais sistemas são bastante próximos do problema de ocupação de viaturas por ocorrências, pois tratam-se de tarefas indivisíveis, isto é, uma ocorrência permanece com o recurso alocado até que seja totalmente concluída. Entretanto não há como solicitar ao cidadão que indique uma estimativa do tempo de duração. O tempo de ocupação da viatura deve, portanto, ser estimado ou previsto com base no histórico de atendimentos anteriores, o que ressalta a importância da caracterização de carga na escolha do melhor método. A previsão pode ser feita por diversos meios matemáticos e estatísticos, dos quais descreveremos dois na seção 5.4.5.

A figura 5.5 mostra como o tempo médio de ocupação é diminuído em relação à mesma situação atendida por FIFO. No caso, o tempo médio de espera observado é de 10,2 min, o menor alcançado em todas as políticas analisadas até o momento. Além disso, ocorrências rápidas (pequenas) têm o tempo médio de espera na fila decrementado, significando um aumento da taxa de serviço.

É importante observar, para o exemplo da figura 5.5 que se sempre chegarem ao sistema ocorrências pequenas antes que o evento de tempo de ocupação 20 seja atendido, este sempre aguarda que as ocorrências menores sejam servidas, permanecendo ele mesmo mais tempo em espera, podendo mesmo nunca ser atendido. Consideramos como tempo máximo de espera 24 horas. Se uma ocorrência permanece na fila por período igual ou superior a

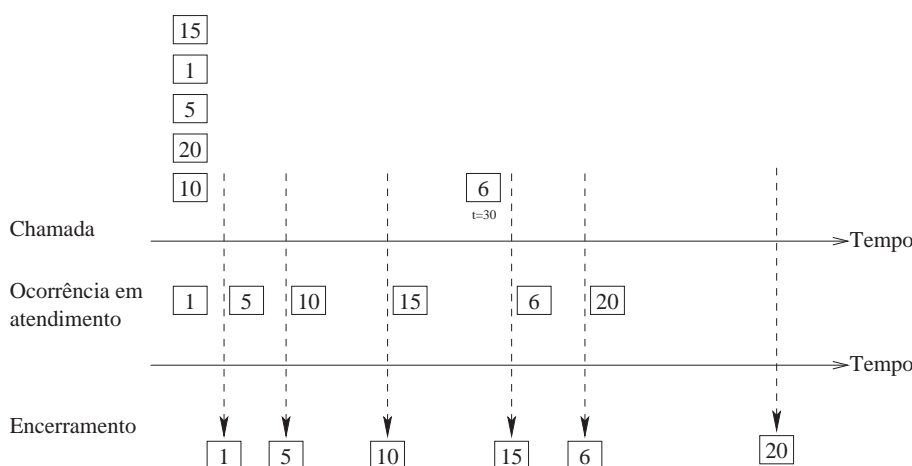


Figura 5.5: Exemplo de atendimento por tempo de ocupação (Ocp).

este limite, ela é dita cancelada e sai do sistema sem receber atendimento. Desta forma, ocorrências maiores podem ser muito prejudicadas, chegando até mesmo a serem todas canceladas, o que aconteceria em muito menor grau na política FIFO.

É possível evitar a inanição das ocorrências grandes, definindo fatores de envelhecimento no cálculo do tempo de ocupação das mesmas [49]. O tempo de ocupação de uma ocorrência é gradualmente decrementado durante a escolha daquela que será atendida, à medida que seu tempo de espera na fila aumenta. Em contrapartida, os benefícios obtidos, especialmente para a classe de eventos pequenos, não são mais atingidos na mesma intensidade. Utilizando estratégias de envelhecimento em fila, o tempo de ocupação estimado da ocorrência é decrementado de uma porcentagem a cada T_e minutos, até atingir o mínimo de zero minutos.

5.4.5 Previsão de Tempo de Ocupação

A principal dificuldade de utilização de SJF como política principal para despacho, ou como política de desempate aplicado junto a prioridades, está em determinar o tempo de ocupação de viatura em cada ocorrência. Ao chegar uma nova solicitação ao sistema, não é sabido qual o tempo que decorrerá do deslocamento e do atendimento da mesma. É preciso, portanto, estimar qual será esse tempo, sendo realizada a previsão de acordo com o tempo médio do par (*natureza, companhia*) referente à ocorrência em questão. Existem vários métodos de previsão, dos quais descreveremos dois deles.

Definimos como série temporal um conjunto de observações ordenadas ao longo do tempo. Nesse contexto, as observações correspondem aos tempos de ocupação de cada ocorrência atendida. Há métodos automáticos como média móvel simples, o alisamento exponencial, e outros. Os métodos automáticos de previsão são aplicados diretamente à série, bastando aplicar equações matemáticas prontas para modelar a série. Devem-se

estimar os parâmetros de tais equações de modo a encontrar o conjunto que melhor descreve a série.

Um método de previsão do tempo médio de processamentos consiste na estimação a partir de uma média exponencial das medidas de tamanhos de processos anteriores, método também conhecido como *exponentially weighted moving average* (EWMA)[46]. O mesmo conceito pode ser aplicado ao tempo de ocupação das ocorrências, especialmente por ser o tempo de ocupação bem modelado pela distribuição exponencial (avaliado em períodos mensais e anuais, discutido no capítulo 4). Seja t_n o tempo de ocupação da n -ésima ocorrência³, τ_n é o tempo médio de ocupação das ocorrências (que corresponde à estimativa de ocupação para a n -ésima ocorrência), e τ_{n+1} o tempo médio previsto da classe da ocorrência corrente. Então, para $\alpha \in [0, 1]$, temos

$$\tau_{n+1} = \alpha t_n + (1 - \alpha)\tau_n. \quad (5.1)$$

A equação 5.1 define uma **média exponencial**. O valor de t_n contém a informação real mais recente, enquanto τ_n armazena a média até a última ocorrência. O parâmetro α determina a importância atribuída ao presente e ao passado para as previsões. Se $\alpha = 0$, então $\tau_{n+1} = \tau_n$ e a última observação não é considerada; se $\alpha = 1$, apenas a duração da última ocorrência determinará o valor da previsão.

O alisamento exponencial duplo a um parâmetro [61] – *Double Exponential Smooth* – emprega o que é chamado de estatísticas de alisamento simples e duplo, denotadas por S_n e $S_n^{[2]}$, onde n é o tempo no qual obtemos a última observação t_n . As estimativas são obtidas a partir das equações 5.2 e 5.3. Ambas empregam a mesma constante de alisamento $\alpha \in [0, 1]$.

$$S_n = \alpha t_n + (1 - \alpha)S_{n-1} \quad (5.2)$$

$$S_n^{[2]} = \alpha S_n + (1 - \alpha)S_{n-1}^{[2]} \quad (5.3)$$

A equação 5.2 alisa as observações originais da série temporal. A equação 5.3 suaviza os valores de S_n obtidos pelo primeiro alisamento. Aplicando-se ambas ao modelo linear que descreve a tendência da série temporal, tem-se que a previsão feita no tempo n para o valor futuro de $t_{n+\Delta}$, isto é, Δ passos à frente, é:

$$\hat{t}_{n+\Delta}(n) = \left[2 + \frac{\alpha\Delta}{(1 - \alpha)} \right] S_n - \left[1 + \frac{\alpha\Delta}{(1 - \alpha)} \right] S_n^{[2]}. \quad (5.4)$$

Como vemos, as equações que definem EWMA e DES dependem unicamente de medidas e previsões um passo antes da previsão (para DES, $\Delta = 1$), sendo de fácil implementação

³Os tempos de ocupação são previstos tomando-se as ocorrências de mesma origem (companhia) e classificação da ocorrência corrente.

em sistemas reais. Basta definir quais os valores iniciais de t (que consideramos nulo) e o parâmetro α . Por sofrer mais de um refinamento, através do segundo alisamento, espera-se que o erro de previsão da política DES seja menor que EWMA, especialmente em circunstâncias onde a variância dos tempos reais de ocupação for muito grande. Tais variações são melhor “captadas” por DES.

Capítulo 6

Resultados Experimentais

A caracterização temporal e espacial, e a proposição de políticas de alocação e despacho de viaturas conduz à modelagem do sistema que envolve o ciclo de vida das ocorrências policiais. A partir do modelo definido, construímos uma ferramenta para análise de cenários de interesse e para identificar as políticas que melhor atendem aos objetivos de eficiência no atendimento aos chamados da população. A descrição da ferramenta e os resultados alcançados são apresentados a seguir.

6.1 Simulador

O atendimento de uma ocorrência policial, originada pela iniciativa de cidadãos externos à polícia (premissa definida na seção 4.2), é descrito pelo modelo apresentado na figura 6.1. As chamadas de diversos tipos chegam à central de atendimento, conforme as funções de probabilidade que os descrevem, ou seja, associadas à localidade e à natureza do incidente. A central dispõe de um certo número de recursos, definidos como viaturas e policiais, distribuídos entre as companhias de polícia. No momento da chamada, caso haja recurso disponível na companhia de origem do incidente, o sistema designa a viatura da companhia correspondente que atenderá a solicitação (ocorrência do tipo B do exemplo do modelo). Assume-se que toda ocorrência é atendida por uma única viatura com dois policiais, pois a falta de dados sobre o número de policiais envolvidos nas ocorrências registradas implica esta simplificação. A viatura, assim, torna-se indisponível para o sistema durante todo o tempo de ocupação da ocorrência (no exemplo, μ_B), equivalente ao tempo de deslocamento e de atendimento propriamente dito. O tempo de ocupação do recurso também pode ser descrito estatisticamente, como feito e apresentado no capítulo 4. Ao final do atendimento, a ocorrência é encerrada e a viatura retorna ao sistema¹.

¹Não necessariamente o retorno representa retorno físico à central, podendo a viatura estabelecer, inclusive, um papel de policiamento preventivo, até haver nova solicitação, por exemplo.

Não havendo recursos para uso imediato das solicitações que entram no sistema (inclusive se for permitido empréstimo entre companhias), elas são postas em filas de espera (especificamente, na fila da companhia que a atenderá) até que um recurso encerre uma ocorrência ativa e se torne disponível. O sistema precisa, então, decidir qual ocorrência dentre as enfileiradas deverá ser servida².

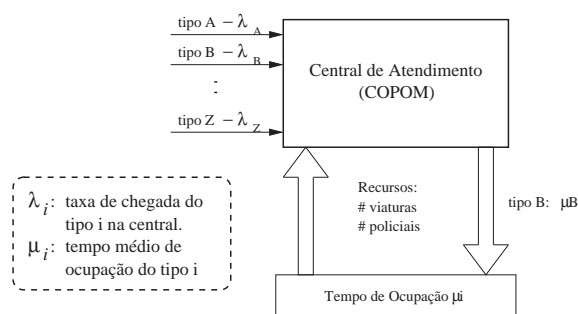


Figura 6.1: Modelo do simulador da central de operações.

Com o intuito de retratar o modelo definido, foi desenvolvido um simulador, capaz de operar nas condições de múltiplas filas (uma por companhia) e filas compartilhadas (política de *pool*), utilizando carga real ou sintética. Através de arquivos de configuração, é possível assim determinar:

Modo de operação: simulação de carga real (arquivo de entrada com ocorrências fornecido), ou de carga sintética (distribuições de probabilidade e respectivos parâmetros fornecidos). O modo de operação por carga real permite analisar o comportamento do sistema frente a ocorrências reais lidas a partir de um arquivo textual que informa o número do boletim de ocorrência, a natureza, a companhia que a recebeu e os três delimitadores de tempo – de chamada ao COPOM, de alocação da viatura e de fim do atendimento. A carga sintética possibilita a flexibilidade de construção de cenários hipotéticos de interesse do analista. Para ela são definidas as distribuições estatísticas (e seus parâmetros) relativos aos tempos entre chegadas e de ocupação de cada par (*tipo, companhia*) definido. Os eventos são gerados durante a simulação pelo sorteio de números aleatórios seguindo as distribuições fornecidas.

Companhias do sistema: apesar de nomeadas de companhias (em acordo com a divisão de operação atualmente adotada), os objetos detentores dos recursos podem ser definidos logicamente representando qualquer divisão geográfica ou política. A abstração é satisfatória desde que a informação da unidade de atendimento esteja no arquivo de entrada (carga real) ou definida nas distribuições estatísticas (carga sintética). Para cada companhia devem ser informados o número de viaturas (absoluto ou percentual do total disponível, podendo definir a política de alocação adotada), as companhias

²Atualmente, as decisões são em geral tomadas por um comandante do setor operacional da PM.

sócias (vizinhas) e o limite de utilização de recursos L do qual se permite empréstimos ($L = 0\%$ impede empréstimos; $L = 100\%$ permite empréstimos sem limites).

Tipos de ocorrência: é possível categorizar as ocorrências à medida que chegam ao sistema. Cada tipo pode corresponder a uma natureza, a conjunto de naturezas (por exemplo, C05XXX, correspondendo a todas as ocorrências de natureza iniciada por C05), a um grupo, ou a uma lista de quaisquer dessas descrições. Para cada tipo, pode-se informar a prioridade que suas ocorrências terão caso a política de despacho escolhida a considere.

Distribuições estatísticas: como dito anteriormente, para simulações de carga sintética, devem ser informadas as distribuições estatísticas e parâmetros do tempo entre chegadas de ocorrências – $\lambda_{tipo,cia}$ – e do tempo de ocupação dos recursos – $\mu_{tipo,cia}$ – para todos os pares (*tipo, companhia*). São suportadas pelo simulador as distribuições: exponencial, Weibull, Gamma, Lognormal e Pareto. Como obtivemos da caracterização temporal (seção 4.4) a distribuição exponencial como a que em geral melhor modelava os dois intervalos, ela foi utilizada em todos os experimentos.

Política de alocação de recursos: as políticas esplanadas na seção 5.3 foram implementadas na ferramenta. A escolha da política é feita pelos parâmetros que indicam o número de viaturas de cada companhia, a aceitação de empréstimos, as ligações de sociedade entre companhias e, se for o caso, a porcentagem de reserva de recursos para uso próprio L . A especificação das companhias sócias permite relações direcionadas (X empresta para Y, mas Y não empresta para X). Tais relações são denominadas igualmente de *vizinhança* deste ponto em diante.

Política de despacho de viaturas: as políticas citadas na seção 5.4 foram implementadas na ferramenta. A escolha de políticas que envolvem prioridade de ocorrências implica a especificação das prioridades de cada tipo de ocorrência anteriormente definido. Da mesma forma, o uso de políticas que dependem da estimação do tempo de ocupação das ocorrências implica a definição do método de previsão e seus parâmetros. No caso, tanto para DES quanto para EWMA deve-se informar o valor do parâmetro α .

Algoritmo de previsão e parâmetro: há três possibilidades de estimação, sendo dois deles os descritos na seção 5.4.5, EWMA e DES. Além disso, é possível verificar o melhor aproveitamento possível das políticas de tempo de ocupação através da previsão exata, ou ótima. Essa previsão consiste em simular 100% de acerto nas estimativas por utilizar o tempo de ocupação fornecido pela carga real, ou sorteado pela geração de carga sintética. Mesmo não sendo realista, os resultados obtidos indicam o benefício máximo que métodos de previsão e políticas de tempo de ocupação de eventos podem alcançar, sendo útil para análises.

Fator de envelhecimento de espera em fila: define a utilização de pesos nos cálculos de prioridade e tempo de ocupação de acordo com o tempo de espera na fila (exceto para despacho por FIFO e CFP). Corresponde ao número de minutos em fila que causará o desconto percentual (fixo) do tempo de ocupação estimado, ou o incremento da prioridade da ocorrência, dependendo da política de despacho escolhida.

Duração da simulação: define o tempo em que a simulação se dará. Em todos os experimentos apresentados, utilizamos o período de um ano.

Duração do período de aquecimento: determina o tempo decorrido entre o início da simulação e o momento em que os contadores do simulador serão reiniciados, para que as medidas coletadas representem o sistema já aquecido. Adotamos o período de 15 dias como padrão para aquecimento.

Há ainda outros parâmetros que configuram a execução da simulação, como modo interativo, apresentação dos estados do simulador e dos eventos etc. Essas opções são possíveis pois são implementadas no conjunto de bibliotecas de simulação em C/C++, *Simpack* [62], utilizado como base na construção do simulador. No pacote *Simpack*, diversos algoritmos são suportados, como simulação de eventos discretos, simulação contínua, e simulação combinada (*multimodel*)[63]. Neste caso, utilizamos o pacote para simulação de eventos discretos.

Além do *Simpack*, fizemos uso de bibliotecas de geração de números aleatórios *GSL* – *GNU Scientific Library*[64], a partir da qual é possível gerar números aleatórios seguindo diversas distribuições de probabilidade. A geração de números regidos por distribuições estatísticas viabiliza o modo de operação em carga sintética, dado que são sorteados os tempos entre chegadas de ocorrências e o tempo de ocupação das mesmas. A biblioteca *GSL* abrange um número vasto de distribuições. Estão implementadas no simulador as distribuições: exponencial, Lognormal, Weibull, Gamma e Pareto, porém nos experimentos realizados usamos apenas a exponencial, em acordo com os resultados da caracterização temporal (seção 4.4).

Em adição ao simulador propriamente dito, foram criados programas auxiliares e *scripts* que facilitam a sumarização de resultados de um conjunto de simulações e geram gráficos comparativos das métricas de desempenho definidas (seção 6.2), facilitando a análise dos resultados. O conjunto de programas desenvolvidos auxilia o entendimento de dados coletados pela polícia, análises de situações hipotéticas (aumento de violência localizada, por exemplo). Além disso, os conceitos utilizados para construção dos aplicativos podem ser empregados em sistemas reais que forneçam indicativos de melhores formas de operação de recebimento e atendimento de chamadas.

6.2 Métricas

A avaliação do desempenho da polícia por parte da população é usualmente subjetiva. No entanto, para verificar a eficácia das políticas propostas neste trabalho e quantificar os ganhos e as perdas de cada uma, é fundamental definir métricas objetivas da qualidade do serviço prestado. Existem três métricas primárias utilizadas nas análises comparativas entre as políticas propostas de alocação e despacho de viaturas:

1. Número de ocorrências canceladas por falta de viatura.
2. Tempo médio de espera em fila das ocorrências.
3. Média de viaturas ocupadas por unidade de tempo.

Consideramos a número de ocorrências canceladas como o principal métrica, pois pretende-se que todas as solicitações sejam atendidas, independente da gravidade. Uma ocorrência é cancelada caso atinja o limite de 24 horas de espera na fila, sendo eliminada do sistema.

Em seguida avaliamos o tempo médio de espera em fila das ocorrências que foram atendidas (não canceladas). Ele indica não somente a capacidade do sistema em atender mais rapidamente as ocorrências, como tem impacto direto no não cancelamento e no não agravamento de ocorrências. Isso porque alguns tipos de ocorrência, se não atendidos de imediato, potencialmente ocasionam uma série de outros delitos de maior gravidade. Por exemplo, caso um assalto esteja acontecendo no momento da chamada à polícia, a chegada da mesma ao local do incidente pode evitar que o mesmo evolua para uma fuga com reféns, ou mesmo assassinatos. O tempo no qual uma certa ocorrência permanece na fila depende do número de outros eventos a sua frente na fila (tempo até chegar ao início da fila) e a disponibilidade de recursos (dependente do número de viaturas, da taxa de chegada e do tempo médio de ocupação das ocorrências). Estratégias de despacho buscam reduzir o primeiro fator, enquanto as de alocação procuram aumentar o grau de disponibilidade dos recursos.

As políticas de alocação de viaturas também são avaliadas quanto ao grau de utilização dos recursos, ou seja, pelo percentual médio de viaturas ocupadas, para o sistema em geral e para cada companhia. Essa métrica indica o grau de desbalanceamento da carga imposta ao sistema em comparação com a distribuição de viaturas entre as companhias. Assim, quanto maior o percentual geral de utilização e quanto mais próximos são esses percentuais em todas as companhias, melhor o aproveitamento de recursos. Também para alocação de recursos, outra métrica importante está relacionada ao número de empréstimos recebidos/cedidos. Essa é uma métrica indireta do custo do deslocamento de viaturas emprestadas no atendimento de ocorrências.

O simulador construído ainda é capaz de contabilizar as seguintes informações acerca de um experimento:

1. Número total de ocorrências recebidas, por companhia e por tipo de ocorrência.
2. Número total de ocorrências enfileiradas, por companhia e por tipo de ocorrência.
3. Número total de ocorrências canceladas, por companhia e por tipo.
4. Tempo médio de permanência na fila por ocorrência (em horas/ocorrência) – total, por companhia, por tipo.
5. Porcentagem média de viaturas ocupadas por unidade de tempo (segundos) total e por companhia.
6. Número de empréstimos recebidos de cada companhia sócia (vizinha).

6.3 Parâmetros e Definições

As próximas seções mostrarão os resultados de experimentos realizados para alocação de viaturas e despacho de ocorrências. Adotamos a seguinte notação:

V : número de viaturas atribuído a todo o sistema simulado (somatório das viaturas de todas as companhias).

v_{cj} : número de viaturas atribuído à companhia cj .

λ_{ti} : parâmetro da distribuição exponencial para descrever a taxa de chegada das ocorrências do tipo ti .

λ_{cj} : parâmetro da distribuição exponencial para descrever a taxa de chegada das ocorrências à companhia cj .

$\lambda_{ti,cj}$: parâmetro da distribuição exponencial para descrever a taxa de chegada das ocorrências do tipo ti incidentes na companhia cj .

μ_{ti} : tempo médio de ocupação das ocorrências do tipo ti .

μ_{cj} : tempo médio de ocupação das ocorrências incidentes na companhia cj .

$\mu_{ti,cj}$: tempo médio de ocupação das ocorrências do tipo ti incidentes na companhia cj .

α : parâmetro dos algoritmos de estimação de tempo de ocupação, EWMA e DES.

L : porcentagem máxima de viaturas ocupadas até a qual uma companhia permite empréstimos de seus recursos.

O número de viaturas V e o parâmetro α são determinados de modo empírico. Apenas para experimentos de comparação de políticas de alocação o valor de V é aumentado para destacar as diferenças de tais políticas aplicadas a um único batalhão isoladamente. A maioria dos experimentos avalia o aumento do número de ocorrências de uma companhia λ_{ck} , ou seja, $\lambda_{ti,ck}$, onde i são todos os tipos de ocorrência simulados.

6.4 Alocação

As políticas de alocação de recursos são definidas com o intuito de promover melhor distribuição de recursos entre as companhias de polícia. Para tanto, buscam sobretudo o balanceamento entre a carga imposta (taxa de chegada de ocorrências e tempo médio de ocupação) e o número de viaturas presentes em cada companhia. Simulamos cenários de análise que indicam a melhor estratégia a ser utilizada de acordo com a carga de ocorrências.

Os experimentos para comparação das políticas de alocação foram realizados com carga real e sintética referentes às companhias 8^a, 9^a, 17^a e 21^a, todas do 34^o Batalhão da Polícia Militar (veja mapa da figura 6.2), e tendo como base as ocorrências estritamente reativas e originadas por iniciativa de cidadãos comuns no ano de 2001 (referente ao ano mais intensamente caracterizado temporalmente). A escolha do batalhão se deu por ser ele o de maior número de ocorrências no acumulado dos anos 2000 a 2003, e por possuir topologia favorável a empréstimos por vizinhança, porém com restrição entre duas de suas companhias. A relação de sociedade foi coincidente à de vizinhança por ser relevante considerar o tempo de deslocamento adicional de uma viatura até atingir a região da companhia solicitante³. É pressuposto durante os experimentos apresentados que o tempo adicional de deslocamento é o mínimo possível caso as companhias sejam vizinhas.



Figura 6.2: 34^o Batalhão da Polícia Militar.

Ainda que não apresentado no capítulo 4, o 34^o Batalhão foi caracterizado temporalmente e os resultados obtidos nas políticas de alocação de recursos estendem-se para toda a cidade. Ou seja, simulações comparativas com todas as 24 companhias do sistema tendem a obter resultados semelhantes, diferindo apenas dos valores absolutos das métricas em cada política.

Foram realizados experimentos para comparar as políticas de alocação de viaturas, dos quais destacamos dois de maior relevância: no batalhão e para verificar o impacto

³Durante empréstimos de viaturas em simulação, não é considerado esse tempo adicional por não ser possível extraí-lo dos dados fornecidos pela PMMG. É, assim, uma simplificação do modelo.

do aumento de ocorrências em uma dada companhia do mesmo batalhão nas métricas definidas na seção 6.2. Dos experimentos feitos, apresentamos os resultados de dois deles, de maior relevância:

1. Simulação com as companhias do 34^o, com número de viaturas e λ_{cj} aumentados igualmente (em quatro vezes) para todas as suas companhias ($j = \{8, 9, 17, 21\}$).
2. Simulação semelhante à anterior, porém com λ_{c9} cinco vezes maior que o valor original obtido da caracterização temporal.

A seguir, apresentamos os resultados de ambos os experimentos. Nos gráficos, deve-se considerar a seguinte legenda:

Hom: alocação homogênea estática.

Het: alocação heterogênea estática.

Het-V: alocação heterogênea com empréstimos ilimitados.

Het-VL: alocação heterogênea com empréstimos limitados.

Pool: alocação com compartilhamento total de recursos.

Primeiro Experimento

Inicialmente, verificamos o comportamento das políticas com o parâmetro do número de viaturas do sistema (batalhão) $V = 20$, pois dessa forma haveria maior diferenciação das atribuições de viaturas por companhia entre as políticas de alocação homogênea e heterogênea. Os experimentos conduzidos com carga real para esse valor total de viaturas, no entanto, foram irrelevantes, uma vez que praticamente o tempo de espera em fila era igual a zero por haver mais viaturas que a demanda oferecida. Passamos, assim, aos experimentos sintéticos nos quais foram aumentadas as taxas de chegada de ocorrências de todas as companhias em relação ao obtido na caracterização temporal, variando esta taxa em 2, 3, 4 e 5 vezes a original e mantendo os valores de $\mu_{ti,cj}$ obtidos da caracterização (os tipos são os mostrados na tabela 4.6). Apresentamos os resultados para a carga aumentada em 4 vezes, uma vez que a relação de 4λ e $V = 20$ ocasiona número de ocorrências canceladas não nulo e proporciona análises mais completas dos resultados de cada política. A tabela 6.1 mostra os parâmetros utilizados durante essa simulação⁴. Uma vez que havia 20 viaturas disponíveis, a alocação homogênea estática atribuiu 5 para cada companhia, enquanto a alocação heterogênea (het, het-v e het-vl) atribuiu em $v_{c8} = 6$, $v_{c9} = 6$, $v_{c17} = 3$ e $v_{c21} = 5$. Para limite de empréstimos, adotamos o valor de $L = 50\%$ para todas as companhias.

⁴Indicação de ‘-’ (traço) indica que não houve ocorrências do tipo na companhia especificada.

Tipo	Cia 8		Cia 9		Cia 17		Cia 21	
	4λ	μ	4λ	μ	4λ	μ	4λ	μ
T1	0,0062	68,012	0,0067	68,880	0,0030	69,001	0,0030	62,352
T2	0,0013	70,455	0,0010	60,520	0,0010	79,822	0,0013	59,763
T3	0,0044	74,132	0,0033	75,444	0,0021	71,640	0,0024	69,657
T4	0,0015	32,917	0,0019	35,825	0,0012	31,273	0,0012	34,003
T5	0,0342	66,822	0,0355	66,520	0,0231	67,693	0,0271	57,816
T6	0,0076	78,299	0,0152	71,857	0,0087	77,074	0,0091	74,906
T7	0,0359	27,444	0,0396	28,693	0,0205	28,453	0,0277	27,431
T8	0,0052	52,175	–	–	–	–	–	41,160
Total	0,0963	58,782	0,1032	58,248	0,0596	60,708	0,0718	53,386

Tabela 6.1: Carga do experimento 1 de alocação de viaturas (oc/min, min).

A figura 6.3 mostra os gráficos do tempo médio de espera em fila das ocorrências, percentual de ocorrências canceladas e média de viaturas ocupadas por segundo, agregado de todas as companhias, quando aumentamos em quatro vezes a carga imposta ao sistema como um todo. Como pode ser visto, o tempo médio de espera em fila cai 70% ao balancear as ocorrências segundo o percentual histórico de carga – distribuição heterogênea – em relação ao tempo obtido na política homogênea. No mesmo gráfico, vemos que a possibilidade de empréstimos entre as companhias ainda representa maior ganho, reduzindo em 99% o tempo de espera, ganho praticamente igual ao caso ótimo (*pool*). Ao limitar o número de viaturas em empréstimo, a política *het-vl* do gráfico representa um menor ganho em tempo de fila, porém os cancelamentos ainda são totalmente evitados. O gráfico da figura 6.3(b) mostra que os cancelamentos diminuem 44% com a alocação heterogênea estática, sendo totalmente evitados nas políticas de compartilhamento parcial (*het-v* e *het-vl*) e total (*pool*). Da mesma forma, o balanceamento de carga é mostrado no gráfico da figura 6.3(c), especialmente quando há compartilhamento de recursos, parcial ou total.

A figura 6.4 apresenta as mesmas informações para cada companhia do batalhão, sendo que o tempo de fila é dado de forma absoluta⁵. As companhias 9 e 8 são especialmente beneficiadas pela divisão heterogênea dos recursos por possuírem carga maior de ocorrências que as demais. Entretanto a companhia 17 passa a ser prejudicada, o que se justifica pela redução de seus recursos em relação à quantidade de viaturas disponível na alocação homogênea⁶. Em contraposição, apesar da divisão heterogênea não ter acompanhado o

⁵Por restrição do pacote *Simpack* e por decisões de implementação, não há contabilizações por companhia na política de *pool*, uma vez que a fila de espera é única para todo o sistema.

⁶A adição de uma única viatura no efetivo da companhia 17, retirada da 21^a, torna o tempo médio de espera igual a 0.618 h/oc na primeira, sem prejuízo para a outra (inferior a 1 h/oc).

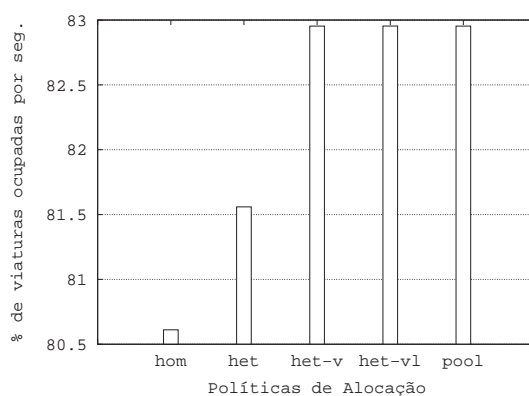
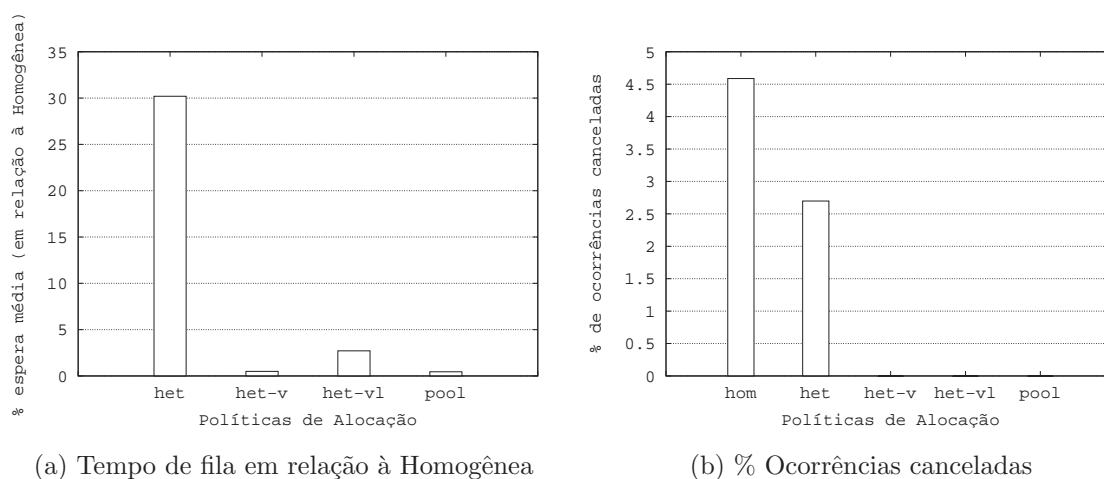
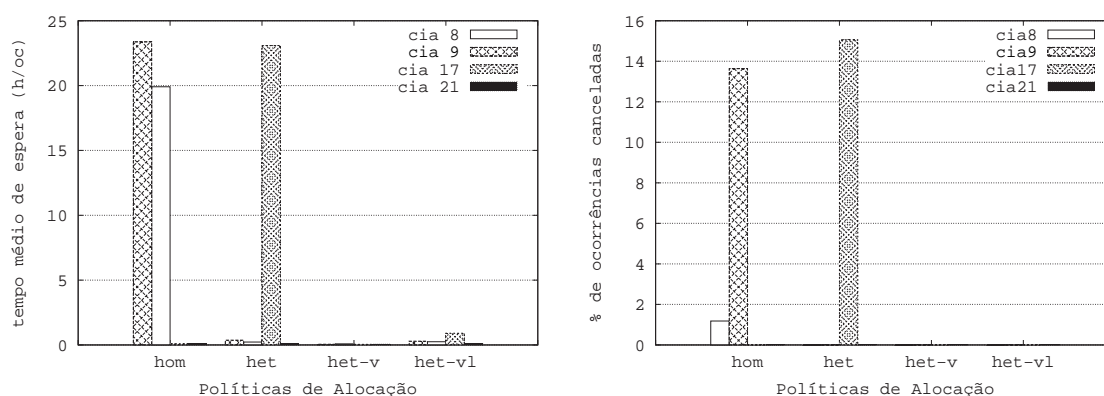


Figura 6.3: Comparação entre políticas de alocação.

desbalanceamento entre λ_{c17} e v_{c17} , a política de empréstimos associada restabeleceu os tempos médios abaixo de 5 minutos/ocorrência para todas as companhias, representando de fato a utilização racionalizada dos recursos. A figura 6.4(c) torna ainda mais claro o balanceamento atingido entre as companhias através do uso das políticas de divisão heterogênea e com empréstimo, uma vez que o nível de ocupação de viaturas das quatro companhias torna-se praticamente igual. Ao limitar os empréstimos, os tempos de espera e as médias de ocupação de viaturas tornam-se piores que no compartilhamento ilimitado, porém não considera-se nesses casos o custo adicional de deslocamento entre companhias. Ainda assim, os resultados são melhores que na alocação heterogênea estática.

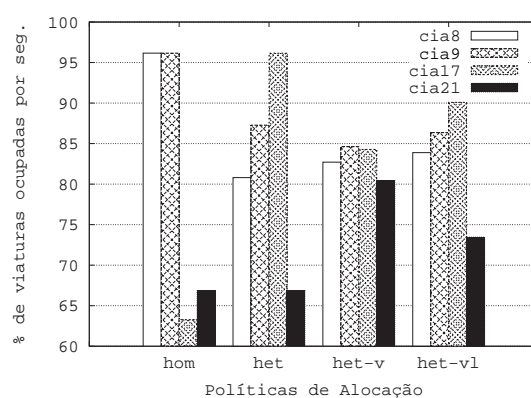
Segundo Experimento

A partir dos resultados do primeiro experimento, identificamos um segundo cenário de interesse, no qual a taxa de ocorrências de uma certa companhia aumenta (no caso, a 9^a CPM), permanecendo as demais do mesmo batalhão inalteradas. Assim, $V = 20$ e λ_{c8} ,



(a) Tempo de fila em relação à Homogênea

(b) % Ocorrências canceladas



(c) Média de viaturas ocupadas (%/s)

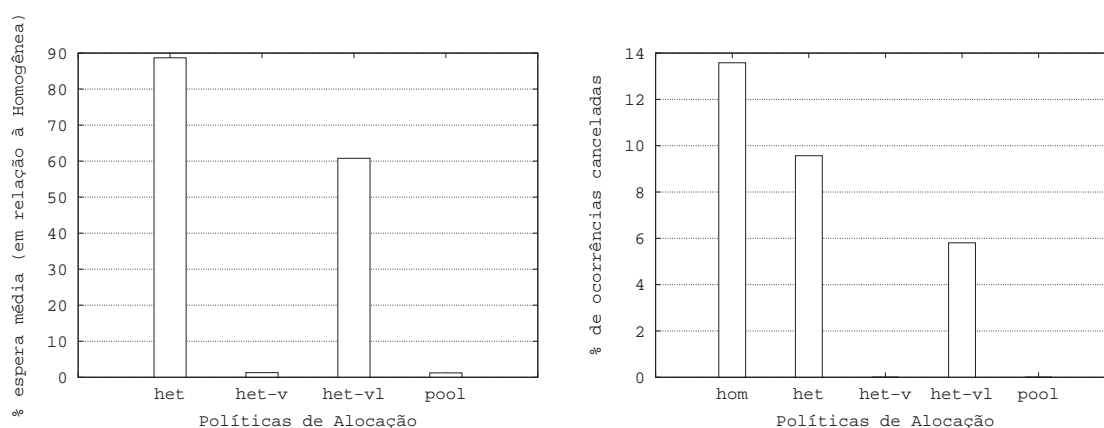
Figura 6.4: Comparação entre políticas de alocação, por companhia.

λ_{c17} e λ_{c21} são os mesmos mostrados na tabela 6.1, e $\lambda_{c9} = 0,1289$, 5 vezes maior que o parâmetro original. Os tempos de ocupação (tabela 6.1) e o número de viaturas atribuído a cada companhia permanecem os mesmos.

As figuras 6.5 e 6.6 mostram os gráficos dos tempos médios de fila, ocorrências canceladas e média de viaturas em atendimento para a simulação em geral (agregado) e por companhia, respectivamente. De novo, a política que melhor contorna o problema do desbalanceamento entre λ_{cj} e v_{cj} entre as j companhias é a divisão heterogênea com empréstimos, tanto nos indicadores gerais, quanto por companhia, aproximando-se sempre da condição ideal de alocação em *pool*. Para o tempo médio de espera em fila (figura 6.5(a)), vemos que a divisão heterogênea estática diminui em 10% o tempo em relação à divisão homogênea. Porém a companhia 9, que teve sua carga aumentada, mas não o número de viaturas, ainda apresenta tempo médio de espera em fila (figura 6.6(a)) e ocorrências canceladas (figura 6.6(b)) muito maiores que das demais companhias, ressaltando o desbalanceamento que ainda há no batalhão. Com o compartilhamento parcial (het-v), o tempo de espera agregado diminui em 99%, equivalente ao obtido em *pool*, mesmo resultado alcançado por

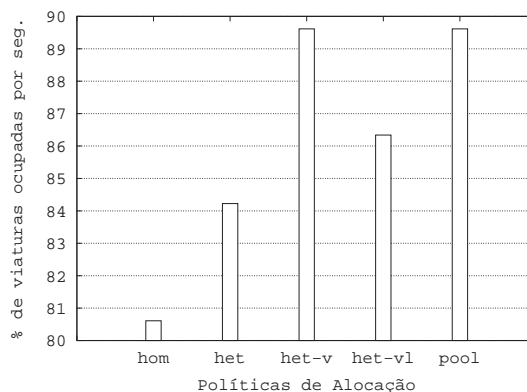
companhia. Mesmo limitando os empréstimos com $L = 50\%$, o tempo de espera cai 33% em relação à política Het e o número de cancelamentos diminui 54% em relação à Hom.

Ainda sobre o percentual de ocorrências canceladas, o empréstimo compartilhado ilimitado evita todos os cancelamentos, sendo que a limitação ainda os diminui em mais de 50% em relação à divisão homogênea estática. A ocupação média de recursos por segundo (figuras 6.5(c) e 6.6(c)) demonstra que o compartilhamento de viaturas promove o balanceamento de carga, aumentando o nível de utilização das mesmas.



(a) Tempo de fila em relação à Homogênea

(b) % Ocorrências canceladas



(c) Média de Viaturas Ocupadas (%/s)

Figura 6.5: Comparação entre políticas de alocação – 9^a CPM aumentada.

Limitação de Empréstimos

Os resultados apresentados até o momento não indicam a vantagem existente ao limitar o número de viaturas disponíveis para empréstimo (Het-VL). Em ambos os experimentos, o limite $L = 50\%$ garante que as companhias deixam de emprestar quando metade de suas viaturas estão em atendimentos. Como discutido na seção 5.3.4, há um custo associado ao empréstimo, referente ao deslocamento da viatura emprestada até a companhia de origem

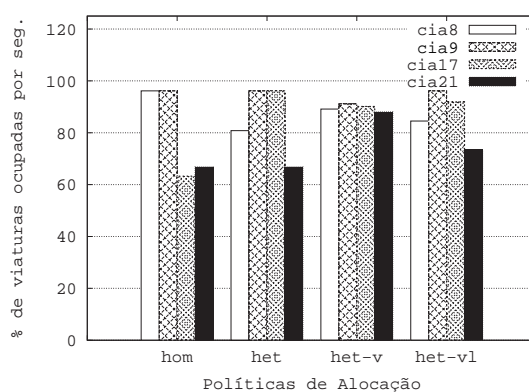
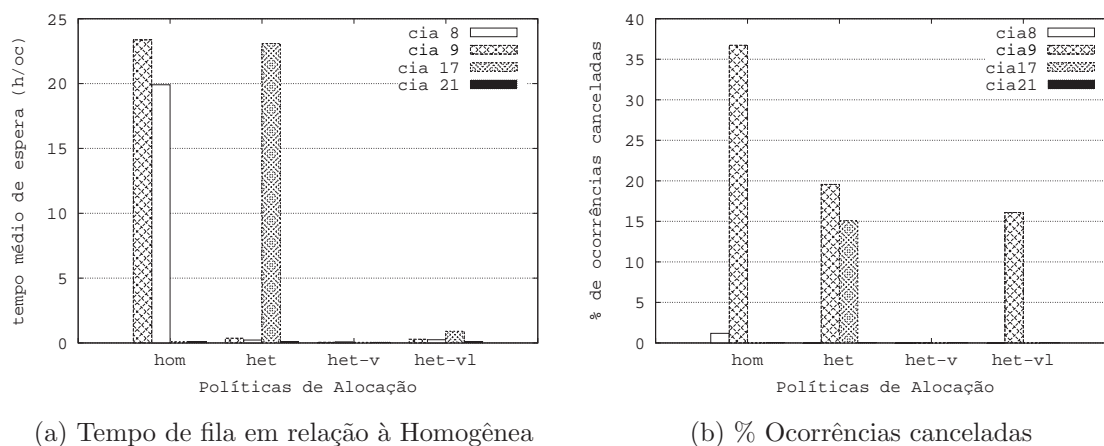


Figura 6.6: Comparação entre políticas de alocação, por companhia – 9ª CPM aumentada.

da ocorrência. A implementação da política heterogênea com empréstimo em vizinhança ignora este custo adicional, correspondente entre o deslocamento entre as companhias envolvidas. Por essa razão, apesar de possuir resultados próximos do melhor caso, existem duas situações em que evitar o empréstimo, mesmo havendo recurso disponível, é vantajoso:

1. A companhia cedente (B) possui uma viatura livre e esta é solicitada pela companhia A. Supondo que não haja reservas de viaturas, a companhia B cederá a viatura à A, aceitando o risco de que em momentos seguintes uma ocorrência própria chegue ao sistema e deva aguardar na fila. Desta forma, vemos que evitar o empréstimo da viatura impediria o prejuízo da companhia B no atraso do atendimento de sua ocorrência, ou seja, o custo adicional de deslocamento seria minimizado ao privilegiarem-se as ocorrências locais em detrimento às das vizinhas.
2. Dando seguimento ao exemplo anterior, supomos agora que a companhia B solicitará de uma vizinha C o empréstimo de recurso para atender sua ocorrência, prejudicada pelo empréstimo anterior de B para A. Se C cede uma viatura e em seguida também

vê-se obrigada a pedir ajuda à vizinhança, pode-se formar um ciclo de empréstimos (como visto na figura 5.1). Se o número de ocorrências for suficiente para que o ciclo não seja rompido, o custo final no atendimento dos chamados será sempre superior, prejudicando ocorrências em cadeia.

O benefício do uso do limite L é apresentado na tabela 6.2 (referente ao primeiro experimento), onde são mostradas as porcentagens das ocorrências das companhias atendidas localmente e por suas vizinhas. A companhia destino é aquela para onde a viatura deslocou-se para realizar o atendimento (companhia que recebeu o ocorrência) e a companhia origem (que cedeu a viatura) é a que aquela de onde partiu a viatura. Como vemos, a porcentagem de ocorrências atendidas pelas companhias de origem aumenta ao limitar-se os recursos de empréstimo. Especialmente para as companhias 17 e 21, o benefício tende a ser maior com a limitação por se tratarem de companhias com menos recursos alocados.

Companhia origem	Het-V				Het-VL			
	Companhia destino				Companhia destino			
	8	9	17	21	8	9	17	21
8	80	10	16	0	99	1	3	0
9	13	70	10	15	1	97	2	1
17	7	6	53	9	0	0	90	0
21	0	13	22	75	0	2	3	98

Tabela 6.2: Porcentagem de ocorrências atendidas nas companhias.

O gráfico da figura 6.7 nos dá mais que o sentimento de vantagem ilustrado pela tabela 6.2, indicando o percentual de ocorrências enfileiradas em cada companhia. Nesse caso, analisamos o cenário do segundo experimento. Como vemos, a companhia 21 é beneficiada pela limitação L diminuindo em mais de 38% as ocorrências que necessitaram aguardar em fila a liberação de uma viatura. Isto é, parte das ocorrências que são prontamente atendidas quando se define limite de compartilhamento aguardam em fila quando não existe limitação, sendo o atendimento depreciado nesse último caso.

Os gráficos da figura 6.8 mostram o percentual de ocorrências canceladas e enfileiradas, por companhia, se variamos o limite L de todas as companhias (carga referente ao segundo experimento). O número de ocorrências canceladas nas companhias tende a crescer nas companhias com maior carga – e mais beneficiadas pelos empréstimos – com o aumento da reserva (menores valores de L). Em contrapartida, o número de ocorrências enfileiradas durante a simulação (figura 6.8(b)) decai com o valor de L para as companhias 8 e 21. Isto significa que essas duas companhias são prejudicadas pelo empréstimo ilimitado, sendo importante atribuir reserva de viaturas para evitar o enfileiramento.

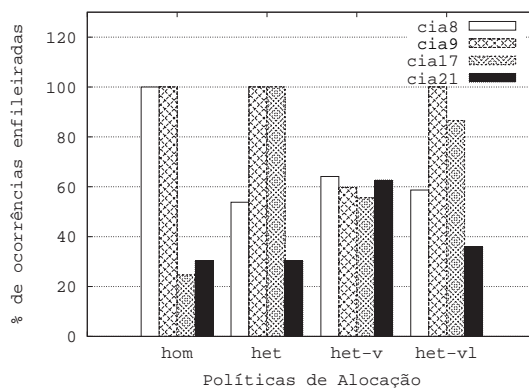


Figura 6.7: Porcentagem de ocorrências enfileiradas – companhia 9 aumentada.

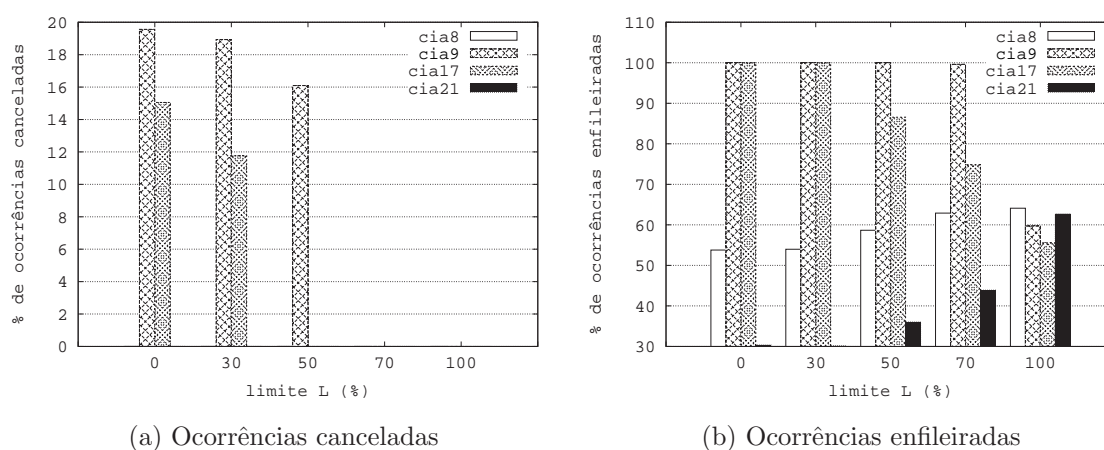


Figura 6.8: Impacto da reserva de recursos (parâmetro L).

Uma vez detectado que a reserva de recursos é válida e ainda mais pertinente o empréstimo de viaturas entre companhias, por contornar situações de desbalanceamento de carga localizado (e provavelmente, aumentos momentâneos também), partimos para a análise do segundo nível de uso de recursos, no qual se deve determinar qual a melhor ordem de atendimento uma companhia deverá seguir de forma a realizar seu serviço de modo mais eficiente.

6.5 Despacho

As políticas de alocação de recursos são apropriadas para tornar maior a disponibilidade de recursos e controlar mudanças repentinas ou localizadas da taxa de ocorrências. Como dito anteriormente, o tempo de espera, e conseqüentemente o número de ocorrências canceladas, depende da taxa de chegada, do número de viaturas e do tempo médio de ocupação. É possível reduzir o tempo de fila médio, inclusive por classes de eventos, pelo rearranjo das

ocorrências a serem atendidas, como vimos pela descrição das políticas de escalonamento ou despacho na seção 5.4. As políticas lá apresentadas foram implementadas no simulador e, dessa forma, foram realizados experimentos para verificar o comportamento do sistema frente a cada política e em diversos cenários de interesse.

O atendimento das ocorrências, realizado de acordo com as políticas propostas, é afetado pelos seguintes fatores:

- Número de viaturas disponíveis V .
- A taxa de chegada de ocorrências ao sistema λ_{cj} .
- O tempo de ocupação dos recursos pelas ocorrências μ_{cj} .
- Os parâmetros dos métodos de estimação, para políticas de despacho que consideram o tempo de ocupação de classes de ocorrências. No caso deste trabalho, para os algoritmos de EWMA e DES, o parâmetro α .
- O parâmetro de envelhecimento T_e especificamente nas políticas que não garantem não inanição de classes de ocorrências.

Por influenciarem os resultados das políticas de despacho propostas, os experimentos realizados fixaram os parâmetros V , α e μ_{cj} . Os dois primeiros foram definidos experimentalmente, enquanto o terceiro foi mantido constante por ser característico das ocorrências e por não ser afetado pelas políticas. Em contrapartida, foram variados os parâmetros λ_{cj} e T_e . As diferenças das taxas de chegada de ocorrências retratam a variação de carga imposta ao sistema, uma vez que se fixou o número de viaturas. Já o tempo de envelhecimento determina o quanto devem ser contornadas as políticas de forma a continuarem eficientes, evitando inanição de classes de ocorrências não favorecidas.

Dessa forma, foram realizados seis experimentos que abrangem os cenários mais relevantes para comparação de políticas de despacho:

1. Simulação com carga real de oito tipos de ocorrências (tabela 4.6) para definir o número de viaturas V a ser adotado nos demais experimentos.
2. Simulação com carga real de oito tipos de ocorrências (tabela 4.6) para definir o valor do parâmetro α a ser adotado nos demais experimentos, aplicado nos algoritmos de estimação de tempo de ocupação EWMA e DES.
3. Simulação com carga real para comparação de políticas de despacho. Foram verificados dois tipos isolados de ocorrências, cujas taxas de chegada obtidas da caracterização temporal são iguais e cujos tempos de ocupação médios são da razão 2 : 1. A extensão dos resultados de 2 tipos é também mostrada para a carga real dos 8 tipos de ocorrências mais representativos e de natureza estritamente reativa, ou seja, excluindo-se as ocorrências de policiamento preventivo (tabela 4.6).

4. Simulações com carga sintética dos dois tipos definidos no cenário anterior, aumentando igualmente a taxa de chegadas de ambos em fatores de 2, 3, 4, 5 e 10 vezes os valores obtidos da carga real.
5. Simulações com carga sintética tal como no cenário anterior, porém aplicando efeito de envelhecimento de tempo de fila.

Eles abrangem situações de aumento de carga, sem acompanhamento de aumento de recursos, bem como comparam os resultados das políticas propostas segundo características de tipos de ocorrências que os influenciam. O uso de dois tipos de ocorrências facilita as análises comparativas e a simulação, envolvendo maior número de ocorrências, demonstra a validade das propostas em cenário mais realista (de ocorrências mais diversificadas).

Em todos os cenários descritos acima, os experimentos consideram apenas os eventos originados na 14ª companhia, por se tratar da região de maior número de ocorrências originadas pela iniciativa de cidadãos comuns no período de 2000 a 2003. Ao isolar uma única companhia, são desconsiderados os efeitos das políticas de alocação e são avaliados apenas os das políticas de despacho. Foram simuladas ocorrências do ano de 2001, por terem sido obtidos parâmetros mensais e anuais referentes a esse ano na caracterização temporal do capítulo 4.

O número de viaturas v_{c14} da companhia foi escolhido supondo uma divisão heterogênea entre as companhias do 13º batalhão, divisão esta proporcional à carga de ocorrências que cada uma recebeu nos 4 anos. É importante destacar que a carga observada por uma companhia depende de λ_{cj} e v_{cj} , porém basta variar apenas um dos fatores para obter o efeito de aumento ou queda da carga observada. A opção adotada foi de variar a taxa de chegadas das ocorrências como um todo, independente do tipo.

Nos resultados apresentados das simulações, deve-se considerar a seguinte legenda das formas de atendimento:

FIFO: por ordem de chegada.

PFifo: por prioridades com desempate pela ordem de chegada.

POO: por prioridade com desempate pelo tempo de ocupação das ocorrências, sem erro de previsão (previsão ótima).

POE: por prioridade com desempate pelo tempo de ocupação das ocorrências, previsão feita com algoritmo EWMA.

POD: por prioridade com desempate pelo tempo de ocupação das ocorrências, previsão feita com algoritmo DES.

CFP: circular ponderado em filas de prioridade.

OcpO: por tempo de ocupação de ocorrência, com previsão ótima.

OcpE: por tempo de ocupação de ocorrência, sendo previsão pelo algoritmo EWMA.

OcpD: por tempo de ocupação de ocorrência, sendo previsão pelo algoritmo DES.

P*: por quaisquer das políticas P_{Fifo}, P_{OO}, P_{OE} e P_{OD}.

PO*: por quaisquer das políticas P_{OO}, P_{OE} e P_{OD}.

Ocp*: por quaisquer das políticas Ocp_O, Ocp_D e Ocp_E.

Definição de Viaturas

Para determinar o número de viaturas a serem utilizados nos experimentos, tomamos dois batalhões isoladamente e variamos o valor de V (correspondente a todo o batalhão), aplicando às companhias a carga real de ocorrências referente ao ano de 2001. A partir do valor de V , o número de viaturas por companhia foi definido proporcionalmente ao histórico de recebimentos de chamadas em cada uma (alocação heterogênea estática). Os gráficos da figura 6.9 mostram o tempo médio de espera em fila por ocorrência, de acordo com o número de viaturas do sistema. No 34º batalhão, com aproximadamente $V = 10$, o tempo médio de atendimentos atinge uma estabilidade, enquanto que para o 1º BPM este valor está em torno de $V = 15$. Utilizamos como padrão o valor de $V = 10$, por representar situação intermediária entre alta disponibilidade de recursos e escassez dos mesmos (em relação à taxa de chegada de ocorrências).

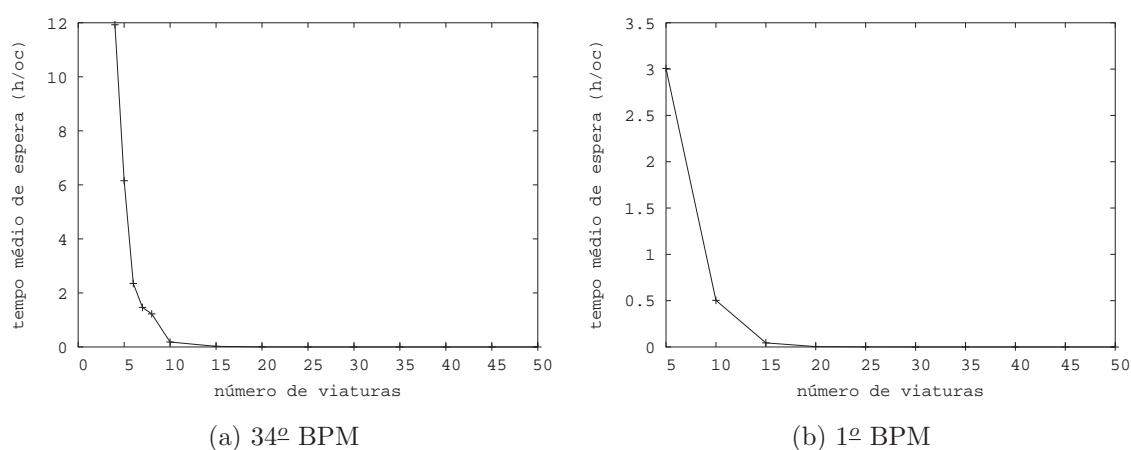


Figura 6.9: Tempo médio de fila de acordo com o número de viaturas.

Adotando o valor padrão de 10 viaturas por batalhão, a 14ª companhia recebeu 3 viaturas. Como mencionado anteriormente, o valor foi obtido pressupondo a alocação heterogênea por batalhão, e proporcional ao número de ocorrências recebidas por companhia nos anos de 2000 a 2003.

Definição do Parâmetro de Estimação α

O mesmo procedimento descrito na seção 6.5 foi adotado para definição do parâmetro α necessário para a previsão da duração das ocorrências nas políticas que a consideram na escolha da ocorrência a ser servida. Assim, utilizamos carga real de ocorrências do ano de 2001 para os batalhões 1 e 34, considerando a política Ocp, tanto com previsão por EWMA quanto por DES. Ambos os algoritmos utilizam o mesmo parâmetro α para estimação do tempo médio de ocupação de ocorrências de mesma classe (mesmo tipo e mesma companhia). O resultado é mostrado na figura 6.10, no qual se avalia o percentual de erro de previsão com a variação de $\alpha \in [0, 1]$. Em ambos os casos, o valor de $\alpha = 0, 1$ apresenta erro de previsão em torno de 1%, tanto para algoritmo de EWMA e DES, sendo escolhido como base nas simulações que se seguem.

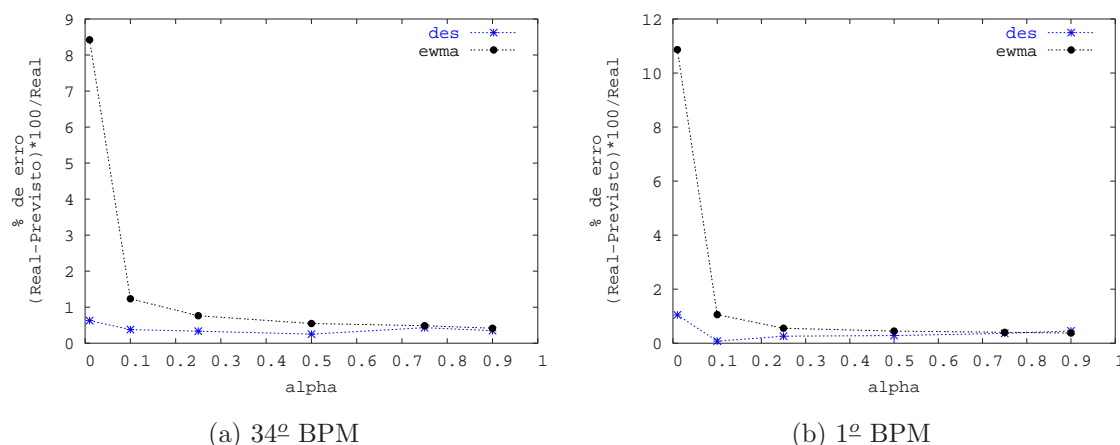


Figura 6.10: Percentual de erro de previsão segundo parâmetro α .

Definidos os parâmetros de viaturas no sistema e de previsão de tempos de duração, realizamos experimentos que indicassem a melhor política de despacho, de forma a diminuir o tempo médio de espera em fila e de ocorrências canceladas.

Experimento de Carga Real

Inicialmente consideramos experimentos de carga real, utilizando os registros de ocorrências do ano de 2001 de dois tipos escolhidos – T5 e T7 (tabela 4.6) – que tivessem atingido a 14^a companhia. Os dois tipos foram os mais frequentes no período e possuem valores de λ_{ti} praticamente iguais de tempos entre chegadas. Taxas de chegada próximas são interessantes para comparação das políticas sem que haja interferência do número de ocorrências de cada tipo que chega à central. O tipo T5 (Criminalidade) é de maior gravidade e para ele foi definida prioridade maior que para as ocorrências do tipo T7 (Averiguações), quando avaliadas políticas CFP, PFifo e PO. Por sua vez, o tipo T7 possui

de forma mais intensa, ainda que em prejuízo do outro. Para as políticas que consideram prioridade (P^*), o tipo T5 tem quedas no tempo médio de espera de até 30% (e limite superior de ganho de 35% definido por POO). Para alcançar essa melhoria, o tipo T7 é prejudicado em 55% do tempo de espera (e limite inferior de POO de 30%). A política CFP mostra-se mais conservadora, aproximando-se bastante dos tempos de FIFO para ambos os tipos, mas mantém a razão de 5 atendimentos de T5 para cada atendimento de T7. A melhor relação benefício/depreciação é obtida pela política de Ocp, independente do algoritmo de previsão. Para as previsões DES e EWMA, T5 tem aumento de 20% no tempo de espera, enquanto T7 apresenta queda de até 37%. Novamente, a política OcpO mostra o caso ótimo de previsão, apontando quais as margens de melhoria que podem ser alcançadas pelo refinamento das previsões.

A escolha da política mais adequada depende da premissa adotada pela polícia. Se o atendimento prioritário é mais importante e compensa a degradação do tempo médio de espera do sistema, a depreciação do atendimento a T7 justificaria a melhora obtida para T5. Ainda assim, é possível considerar se é razoável adotar uma política mais conservadora, como CFP, por não causar maior prejuízo a T7.

Em contrapartida, se a diferença das gravidades dos tipos envolvidos não for significativa, a escolha da polícia pode pender para o atendimento otimizado do sistema em geral. Nesse caso, a política Ocp é a mais indicada para melhoria dos tempos de espera médios, mesmo degradando o atendimento das ocorrências de T5.

As estimações por DES e EWMA não representaram diferenças relevantes neste experimento, já que ambos obtiveram erros médios de estimação muito próximos entre si, variando de 0,01% a 1,9% de acordo com o tipo da ocorrência.

É importante notar que, caso as ocorrências prioritárias coincidisse com os menores tempos médios de ocupação, a política Ocp atenderia os dois pontos de interesse: diminuição do tempo médio de espera total e atendimento prioritário para ocorrências graves. A figura 6.12 mostra os tempos médios de ocupação das ocorrências analisadas (tabela 4.6), considerando T1 o tipo mais prioritário e T8 o menos.

A partir do conjunto completo de ocorrências da tabela 4.6, apresentamos na figura 6.13 o tempo de espera médio em fila para simulação com carga real. Nesse cenário, não houve cancelamentos. Como pode ser visto, a definição de prioridades e as diferenças entre tempos de ocupação entre os tipos podem acarretar quedas nos tempos de espera em mais de 65% em relação à FIFO para alguns tipos, com prejuízo de até 160% de aumento no tempo de espera de outros. Há ainda peculiaridades nas incidências das ocorrências, como no caso de tipo T4, que afetam o tempo de fila independente da prioridade atribuída. Isto é, mesmo sendo menos prioritário que o tipo T1, T4 possui tempos de espera inferiores a todos os demais por ocorrer em momentos diferentes dos outros tipos, não concorrendo com eles pelo uso dos recursos. Portanto, análises de conjuntos maiores de tipos de ocorrências

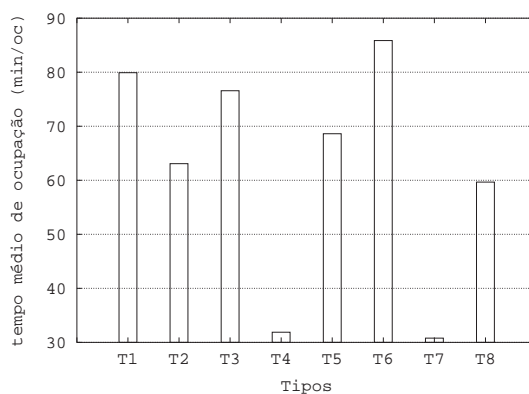


Figura 6.12: Tempo médio de ocupação por tipo de ocorrência.

devem ser mais cuidadosas.

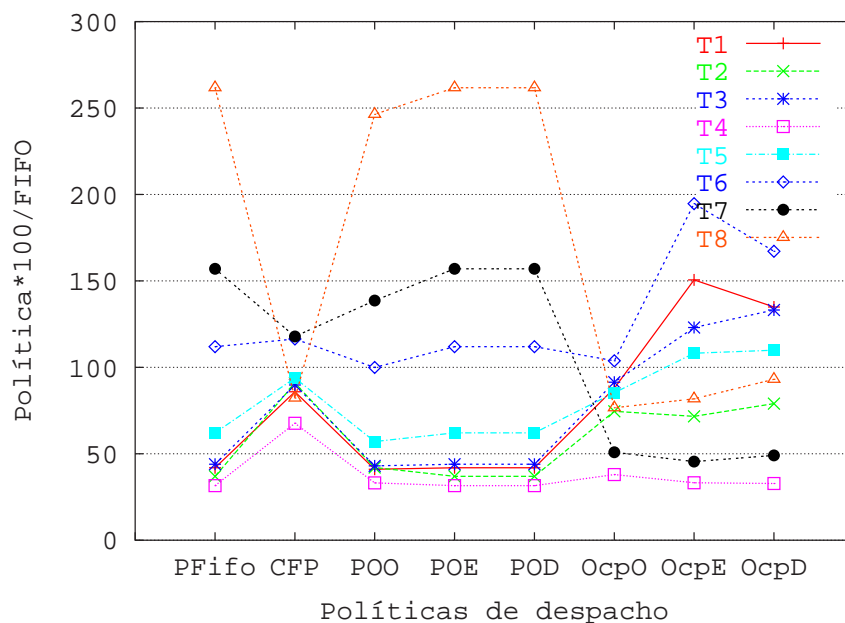


Figura 6.13: Tempo médio de espera para 8 tipos em carga real.

Experimento Sintético – Aumento de Carga

Dando continuação ao experimento anterior, aumentamos a carga imposta à companhia, mantendo os demais parâmetros da tabela 6.3. Assim, os valores de $\lambda_{t5,c14}$ e $\lambda_{t7,c14}$ foram aumentados simultaneamente em 2, 3, 4, 5 e 10 vezes. A porcentagem de ocorrências canceladas, de acordo com a carga utilizada, é mostrada no gráfico da figura 6.14. A porcentagem de cancelamentos aumenta de acordo com o acréscimo da carga, naturalmente, já que o número de viaturas permanece constante. Observa-se, também, que há diminuição dos cancelamentos, independente do tipo das ocorrências, nas políticas Ocp*, chegando a

21% de cancelamentos a menos quando a carga é 5 vezes maior que a carga normal e os tempos de atendimento são previstos por EWMA ou DES. Ainda existe uma margem de benefício que pode ser alcançada, definido por OcpO (menos 45% de ocorrências canceladas em relação a FIFO). As políticas de priorização (exceto a ideal POO), no entanto, aumentam o número de cancelamentos em relação a FIFO. Isso acontece porque diminuições alcançadas para o tipo prioritário são ultrapassadas pelas perdas do tipo não-prioritário, o que na medição agregada resulta em aumento dos cancelamentos. Mesmo assim, é importante notar que o atendimento por prioridades e com desempate no tempo de ocupação estimado pode causar menos cancelamentos que FIFO, se o algoritmo de previsão for suficientemente preciso, como mostram os resultados para POO.

A figura 6.15 mostra os cancelamentos para a carga 3, 4, 5 e 10 vezes aumentada, para cada tipo separadamente. Vemos na carga 3 vezes maior que as políticas de priorização chegam a aumentar em 57% (em relação aos cancelamentos de FIFO) as ocorrências canceladas do tipo T7 para melhorar os atendimentos do tipo T5 em 100%. Em oposição, o prejuízo do tipo T5 ao aplicar Ocp não chega a 7%. A decisão da escolha da melhor política depende do quão grave são considerados as ocorrências de cada tipo, pois o ganho ou a perda numericamente pequena pode significar resultados de grande impacto. Por exemplo, a diminuição de 1% de cancelamentos de ocorrências de assaltos pode ser tão importante que justificaria cancelamentos de mais 30% de outras ocorrências menos relevantes. Ou mesmo um número de cancelamentos (como o obtido de 7% de T5) de uma ocorrência considerada prioritária pode ser aceitável com vista no ganho obtido para as ocorrências como um todo.

Quando a carga é 4 vezes maior que a atual (figura 6.15(b)), as políticas de priorização chegam a cancelar 100% das ocorrências do tipo T7, exceto no caso de CFP. Isso significa que com CFP a prioridade é mantida para o tipo T5 (queda de 33% de cancelamentos), porém não há inanição do tipo T7 e não são necessárias estratégias de envelhecimento. Dessa forma, o fato de CFP ser menos agressiva que P* resulta em atendimento prioritário sem ignorar por completo as ocorrências de T7. Mesmo assim, Ocp mostra-se mais adequada, eliminando todos os cancelamentos do tipo T7 e aumentando os do tipo T5 em 20%. Novamente, apesar de cancelar menos ocorrências, os cancelamentos do tipo T5, de acordo com a gravidade dessas ocorrências, podem constituir perda muito maior que o ganho obtido pela política.

Para aumentos acima de 4 vezes, as políticas P* cancelam 100% das ocorrências do tipo não prioritário. Até 5 vezes mais ocorrências, Ocp* e CFP privilegiam os tipos T7 e T5, respectivamente, porém evitam a inanição do outro tipo. Quando a carga é maior que 5x, o sistema é saturado e podemos verificar que as políticas são capazes de fazer melhor uso de recursos com aumento de ocorrências, mas há um limite de ganhos. Nesses casos, o atendimento só será regularizado com aumento de recursos, já que não é trivial modificar

o tempo de ocupação das ocorrências sem queda da qualidade do atendimento *in loco*.

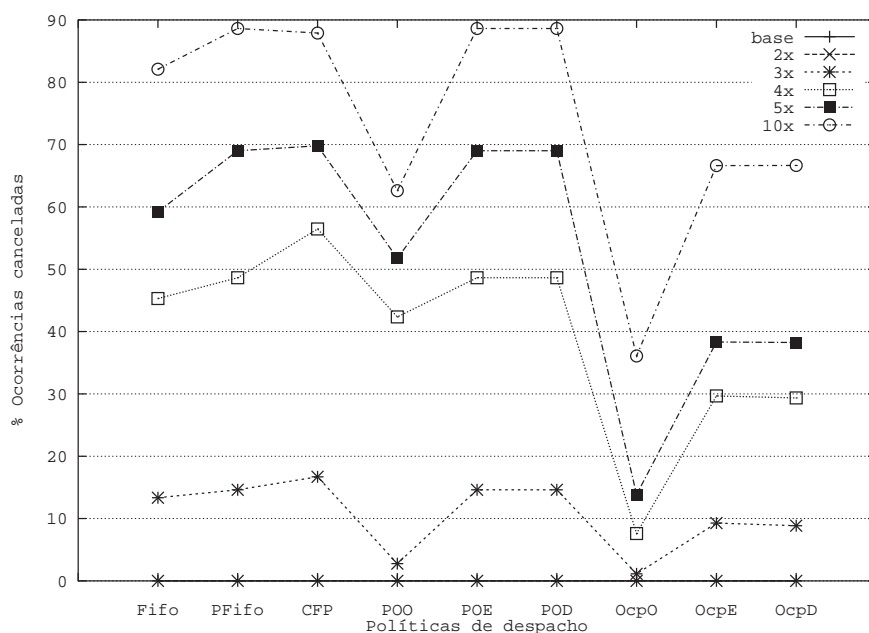


Figura 6.14: Porcentagem de ocorrências canceladas com aumento de carga.

Já para o tempo de espera agregado, a figura 6.16 deve ser analisada caso a caso. Começando pela carga normal, o tempo médio de espera é quase o mesmo de FIFO, independente da política adotada (como analisado anteriormente). As exceções aparecem nas políticas OcpO e POO, que representam o limite máximo de ganho alcançável por PO* e Ocp*. Ao aumentar a carga em duas vezes, não há cancelamentos e o impacto causado se refere apenas ao aumento do tempo de espera como um todo. Ainda assim, as melhoras no tempo de espera geral de Ocp* são inferiores a 10% (EWMA e DES) e podem atingir 22%. A partir da carga aumentada em 3 vezes, os cancelamentos estão presentes em todas as políticas e o tempo de espera é computado apenas para ocorrências que foram efetivamente atendidas. Deste modo, enquanto não há saturação do sistema (em mais de 5 vezes a carga), o tempo de fila tende a cair para as políticas de prioridade e Ocp em até 60% (3 vezes – PFifo, CFP, POE e POD) e até 90% (4 vezes, nas mesmas políticas), desconsiderando os casos ótimos. Porém, essa queda deve ser analisada considerando que o percentual de ocorrências canceladas nesses casos é de 15% a 18% (3 vezes) e 50% (4 vezes). Ou seja, a melhoria do tempo de atendimento é também reflexo do prejuízo provocado pelos cancelamentos. Com aumento de 5 a 10 vezes da carga, a relação entre a taxa de chegada e o número de viaturas leva o sistema à saturação. Nesses casos, as ocorrências que conseguem ser atendidas ficam na fila tempo mais próximo do obtido em FIFO e próximo do limite de 24 horas.

Se Ocp permanece vantajoso em relação às demais políticas quanto ao tempo de espera em fila e no número de ocorrências canceladas como um todo (inclusive sob carga 5 vezes

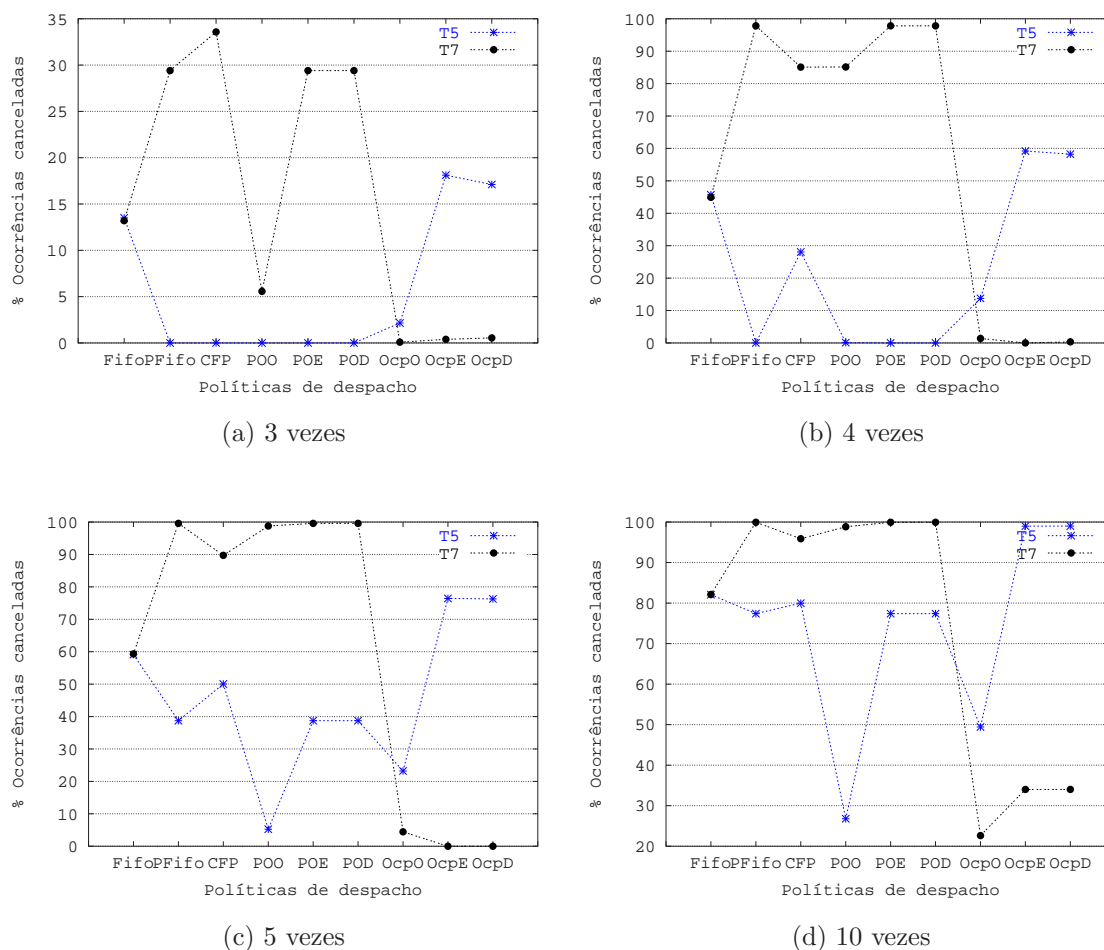
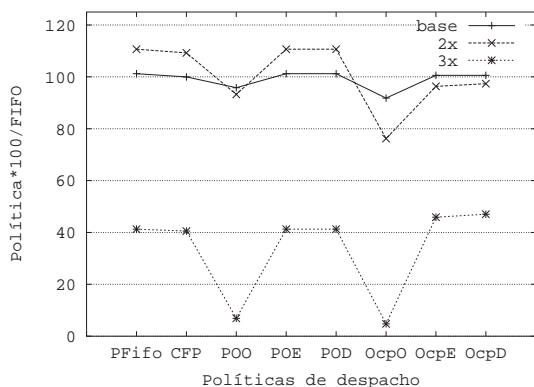


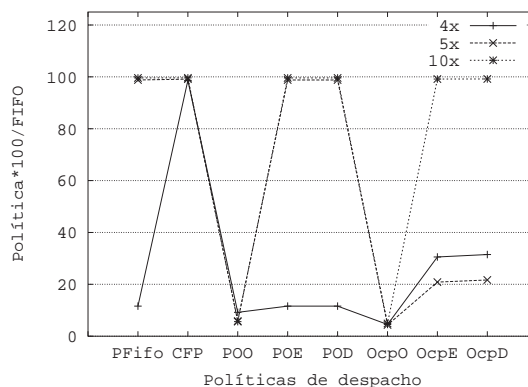
Figura 6.15: Ocorrências canceladas por tipo, variando a carga.

aumentada), CFP é a política de prioridade que melhor se comporta sob aumento da taxa de ocorrências. Mesmo aproximando dos tempos de espera e de cancelamentos de FIFO, para cada tipo separadamente (figura 6.17), há a garantia de atendimento com prioridades e o tipo menos privilegiado não é ignorado pelo sistema (cancelamentos sempre menores que 100%). Portanto, mesmo sendo menos agressiva que P*, em altas cargas há prioridades de atendimentos menos discrepantes entre os tipos, mas com garantia de atendimento de todos eles.

Importante ressaltar que nos gráficos das figuras 6.17(c) e 6.17(d) os tempos de espera que atingem 0% (P* e CFP na primeira; P*, CFP e OcpE na segunda) em relação à FIFO significam que houve 100% de ocorrências canceladas para aqueles tipos e políticas. Ou seja, o tempo de espera médio por ocorrência atendida é nulo pois todas são canceladas (ocorrências atendidas = 0). As diferenças em relação a OcpD e OcpE estão associadas aos erros de previsão diferenciados de cada um para cada tipo de ocorrência. Tipicamente, os erros de DES foram menores que EWMA, e ambos inferiores a 20%.

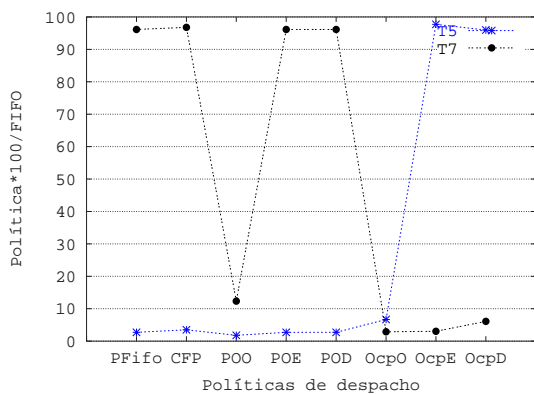


(a) base, 2x e 3x maior

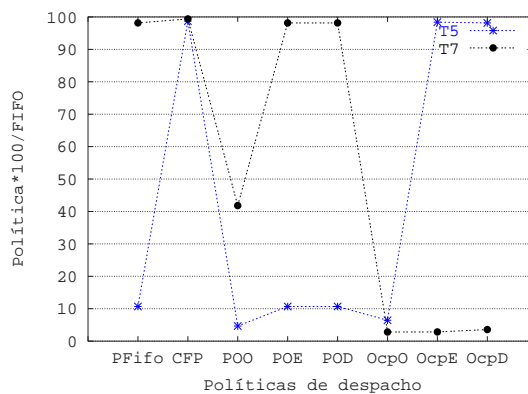


(b) 4x, 5x e 10x maior

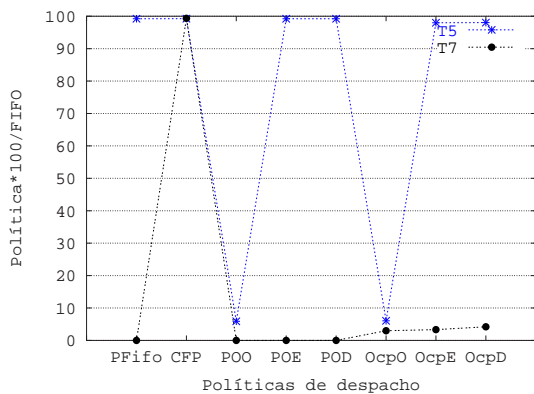
Figura 6.16: Tempo médio de espera com aumento de carga.



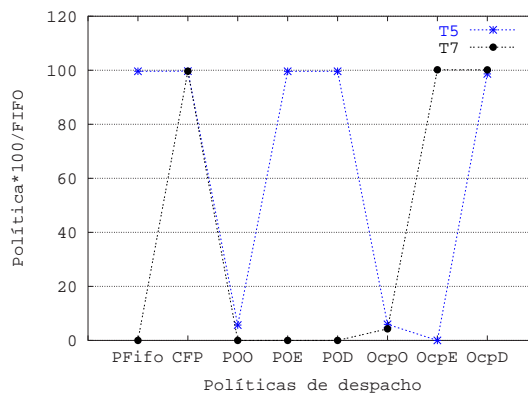
(a) 3 vezes



(b) 4 vezes



(c) 5 vezes



(d) 10 vezes

Figura 6.17: Tempo de fila por tipo, variando a carga.

Experimento Sintético – Envelhecimento em Fila

Para evitar o cancelamento total de um tipo não prioritário (inanição), pode-se utilizar fatores de envelhecimento, como visto na seção 5.4. No caso das políticas de prioridade, exceto CFP, o envelhecimento significa incrementar a prioridade da ocorrência a cada T_e minutos na fila de espera. Já para a política Ocp, o tempo de ocupação estimado é decrementado de uma porcentagem pré-definida (no nosso caso, 5%) a cada T_e minutos na fila.

As figuras 6.18 e 6.19 mostram as porcentagens de cancelamentos com e sem a utilização de envelhecimento, para políticas de prioridade e Ocp, respectivamente, com carga sintética 4 vezes maior que a básica. A carga foi escolhida por ter número considerável de cancelamentos com o sistema não saturado. Como pode ser visto, nas políticas de prioridade, quanto menor o valor de T_e , mais próximas as políticas ficam de FIFO, pois o envelhecimento contraria o princípio da política ao modificar a ordem de atendimento pelo incremento de prioridade das ocorrências. Em contrapartida, o maior valor de T_e aproxima do caso base, onde não há envelhecimento (algumas ocorrências podem ser atendidas, após aguardarem em fila, sem sofrerem envelhecimento). A escolha do valor ideal de T_e deve ser definido de acordo com a gravidade do tipo T5 e do tipo T7 e em conjunto com os valores de prioridades. Por exemplo, caso T5 e T7 tiverem gravidades “semelhantes”, o tempo de envelhecimento para acréscimo de prioridade pode ser igual a $T_e = 10$ minutos, aproximando os dois tipos rapidamente no critério de desempate à medida que T7 envelhece. Se a diferença entre as gravidades é maior, o tempo de envelhecimento também pode ser ampliado para, por exemplo, $T_e = 120$ minutos, incrementando o privilégio de T7 apenas quando este está mais próximo do cancelamento.

A figura 6.19 apresenta o percentual de cancelamentos por políticas Ocp* de acordo com o tempo de envelhecimento adotado. Os gráficos mostram que a aplicação de envelhecimento nesses casos é tarefa mais difícil que nas políticas de prioridade. Como vemos, com uso de $T_e = 60$ o número de canceladas é praticamente igual a FIFO em todas as políticas. Para $T_e = 70$, a diminuição de cancelamentos de T5 em relação a $T_e = \infty$ é de aproximadamente 13% (OcpE e OcpD), ao passo que, de 0 cancelamentos, T7 passa a cancelar 42% de suas ocorrências. Com apenas mais 10 minutos, $T_e = 80$, o número de cancelamentos fica igual à situação de não envelhecimento, permanecendo assim até 120 minutos (figura 6.18(d)). Esse fato ressalta que a definição do valor ideal de T_e e o ajuste da porcentagem de desconto do tempo de ocupação previsto, conforme a passagem de tempo em fila, são de difícil obtenção. Isso porque, se o tempo médio de espera é próximo de 24 horas, o decremento de tempo de ocupação tenderá a 100% rapidamente, tornando todas as ocorrências iguais durante o escalonamento, voltando à situação base de FIFO.

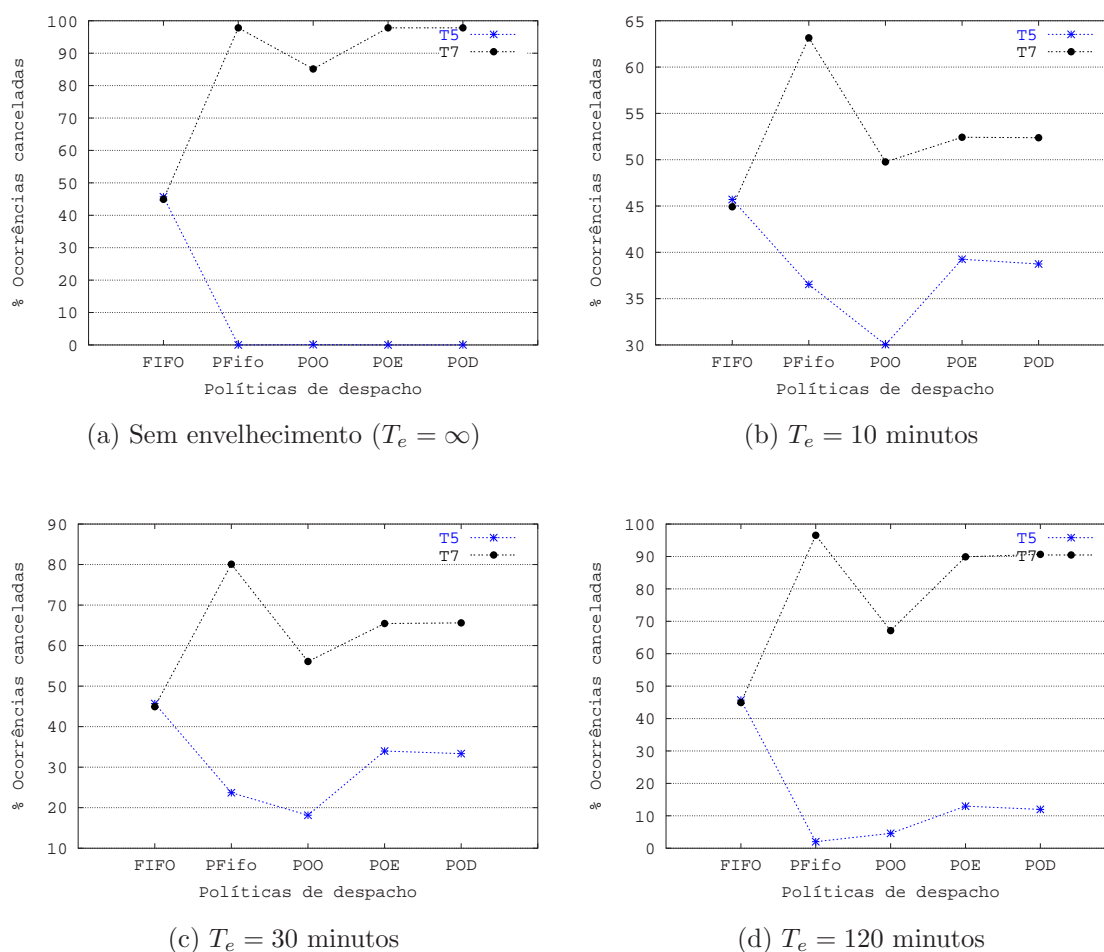


Figura 6.18: Ocorrências canceladas com envelhecimento de fila em prioridades.

6.6 Sumário

Os resultados experimentais indicam que a melhor política de alocação de viaturas entre companhias corresponde à heterogênea com permissão de empréstimo, devendo-se considerar que os resultados são otimizados por minimizarem o custo de deslocamento entre companhias das viaturas que são emprestadas. É ainda interessante definir em algumas companhias um limite de empréstimo que previna o efeito cíclico de empréstimos e a degradação do serviço local pelo empréstimo excessivo de viaturas a companhias vizinhas.

Na camada de despacho de viaturas para atendimento de ocorrências, conclui-se que, sob cargas leves, a aplicação do método de FIFO se mostra tão vantajoso quanto os demais, especialmente pela simplicidade de implementação. Havendo maior carga para o número de viaturas disponíveis na companhia, o algoritmo de SJF (tempo de ocupação O_{cp}) apresenta os melhores resultados de diminuição de tempo de espera e de cancelamentos dos tipos agregados, mesmo comparando a depreciação dos tipos de tempo de ocupação médio maiores em relação às políticas de priorização. O cenário ideal corresponderia ao caso em

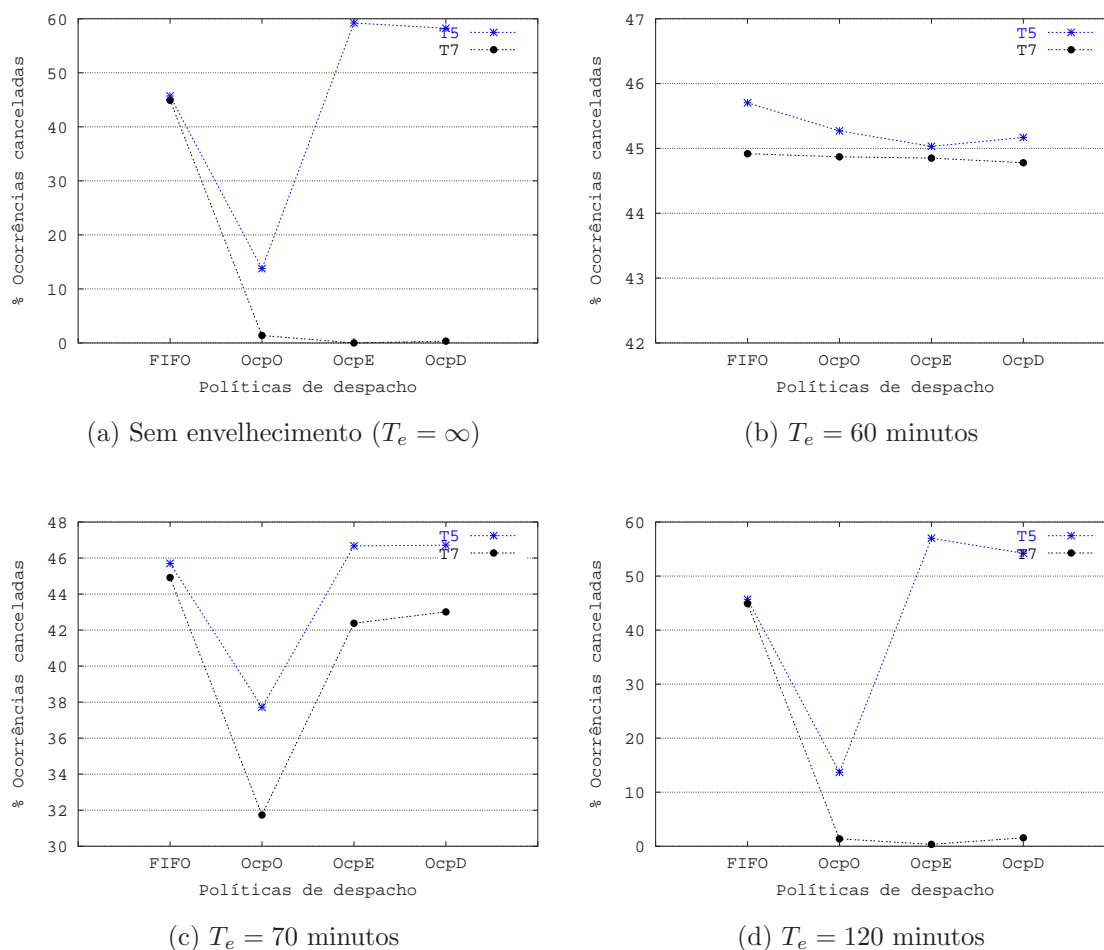


Figura 6.19: Ocorrências canceladas com envelhecimento de fila em Ocp.

que as ocorrências ditas “menores” fossem justamente aquelas de maior prioridade (o que não corresponde à classificação adotada nas simulações).

Caso as companhias adotassem como premissa o atendimento prioritário de classes de ocorrências, em detrimento de diminuição total de espera e cancelamentos (Ocp), seria preciso escolher entre políticas mais agressivas e com maiores riscos para tipos não prioritários; ou uma política mais conservadora e mais robusta em condições de intensa carga. A princípio, consideramos CFP a política mais adequada, por garantir o atendimento mínimo e quantificado para as ocorrências mais graves, sem risco de inanição das demais classes de ocorrências. Além disso, CFP dispensa o uso de técnicas de envelhecimento que, mesmo sendo eficazes para remediar falhas das políticas de priorização PFifo e PO, acarretam a definição do parâmetro de envelhecimento T_e .

Capítulo 7

Conclusão e Trabalhos Futuros

Esta dissertação de mestrado apresentou uma abordagem de tratamento do problema de segurança pública, com base nos dados referentes às ocorrências policiais registradas na cidade de Belo Horizonte pela Polícia Militar de Minas Gerais. Além de verificar as características temporais e espaciais dessas ocorrências, o trabalho avaliou a eficiência de diferentes políticas de alocação espacial de recursos e de despacho de viaturas para atendimento de solicitações de cidadãos, identificando aquelas que melhor atendem às métricas de cancelamentos de atendimentos por falta de recursos e de tempo de espera em fila. O trabalho mostra-se inovador por utilizar técnicas de Tecnologia da Informação para tratamento, análise e modelagem de sistemas sociais, associados aos estudos de Criminologia. A dissertação também oferece como resultado um conjunto de ferramentas que permitem analisar bases de dados de outros períodos e localidades, e que auxiliam sociólogos e setores de planejamento estratégico da Polícia Militar em análises de crimes.

7.1 Conclusão

O trabalho está fundamentado em caracterizações temporal e espacial das ocorrências, que provêm conhecimento sobre o consumo de recursos da polícia e estratégias de prevenção para combater o crime em áreas concentradas, bem como circunstâncias identificadas de aumento típico de ocorrências. Os resultados da caracterização contribuíram para a definição e escolha de políticas de alocação de viaturas espacialmente e de políticas de despacho de viaturas para atendimento de ocorrências.

As caracterizações apresentadas no capítulo 4 mostraram que o tempo entre chegadas das ocorrências e o tempo de ocupação de recursos destas são exponencialmente distribuídas, independente da classificação das ocorrências e da companhia onde incidem. Em adição, o capítulo demonstra que há concentração de tipos de crimes violentos em pou-

cas regiões da cidade de Belo Horizonte, identificadas pelo *ranking* dos setores censitários por eles atingidos e pela constatação que essa classificação espacial é bem modelada pela Lei de Zipf. Contudo o mesmo não é observado em extensões territoriais maiores, como Bairros, Companhias e Unidades de Planejamento, ainda que haja diferenças do número de ocorrências entre os elementos que compõem cada uma destas unidades. No caso de companhias, identificamos concentrações modeladas pela Lei de Zipf nos setores de cada uma isoladamente, informação fundamental para o planejamento de atividades preventivas em cada companhia.

A partir dos resultados da caracterização e da modelagem do sistema de atendimento de ocorrências policiais, o trabalho seleciona políticas de alocação de recursos e escalonamento de eventos. Essas políticas, desenvolvidas para sistemas computacionais e descritas no capítulo 5, foram aplicadas no contexto do sistema de alocação de viaturas entre companhias de polícia e de despacho de viaturas para o atendimento reativo de crimes e outras ocorrências policiais.

Uma forte contribuição desta dissertação constitui a criação de um simulador do sistema de atendimentos de ocorrências, construído com base nas políticas de alocação e despacho de viaturas propostas. Com a geração de carga sintética obtida pelos resultados da caracterização de carga temporal, este trabalho avaliou o desempenho da aplicação das políticas implementadas, considerando sempre os seguintes compromissos:

1. Balanceamento de carga em contraposição ao aumento de complexidade de alocação e custos de deslocamento de viaturas entre companhias, referente à alocação espacial de recursos.
2. Atendimento preferencial de ocorrências graves em contraposição ao atendimento eficiente de todas as ocorrências como um todo (mesmo que isso represente depreciação de ocorrências graves), presente no despacho de viaturas.

Desta forma, identificamos que a política de alocação heterogênea proporcional à carga nas companhias e com compartilhamento parcial de recursos promove o balanceamento dinâmico da carga imposta a cada companhia, de acordo com o número de recursos de que dispõe, considerando o custo mínimo de deslocamento de viaturas entre companhias. O efeito negativo do custo adicional de deslocamento foi medido de forma indireta nos experimentos e pode ser contornado pela criação de reservas de recursos, em uma política mais conservadora de uso semi-compartilhado de viaturas. Quanto ao despacho, a escolha entre as políticas de CFP e Ocp está intrinsecamente relacionada às características das ocorrências e da adoção ou não de atendimentos prioritários por parte da Polícia Militar. Nos casos estudados no capítulo 6, identificamos as duas políticas como as mais eficazes, cada qual atendendo a um dos compromissos listados no segundo item acima, sendo que Ocp é ideal para atendimento eficiente de ocorrências de pequenos tempos de ocupação,

enquanto CFP garante um mínimo de atendimento de ocorrências prioritárias sem ignorar os demais atendimentos (sem necessidade de definição de parâmetros de envelhecimento). Para as ocorrências estudadas, as prioritárias possuíam tempos de ocupação mais elevados que as demais. Entretanto, se em outros conjuntos de ocorrências a gravidade corresponder a menores tempos de ocupação, a política Ocp também se mostra eficiente no atendimento por prioridades.

O trabalho possui relevância por tratar de forma sistêmica o problema de consumo de recursos para combate à criminalidade, sendo pioneiro na aplicação de técnicas de TI para este problema e pelos resultados obtidos, inéditos no Brasil e na América Latina. Em adição, todas as ferramentas construídas durante o trabalho permitem que sociólogos e especialmente a polícia estabeleçam ações mais efetivas no combate à violência.

7.2 Trabalhos Futuros

Esta dissertação aponta para algumas direções de pesquisas futuras. Tal como as concentrações do número de ocorrências em regiões da cidade de Belo Horizonte, estudos preliminares apontam que também há concentração, aproximada pela Lei de Zipf, dos tempos de ativação de ocorrências de acordo com as localidades. As diferenças entre os tempos de ativação indicariam a prioridade de atendimento da polícia a determinadas regiões da cidade, seja pelo menor tempo de espera em fila, seja pela presença de viaturas próximas à região em questão. A mesma metodologia empregada no estudo apresentado nesta dissertação e as ferramentas desenvolvidas para executá-la podem ser utilizadas nesse contexto.

Uma outra direção é fazer uso de ferramental matemático, analisando o sistema com modelos analíticos de filas M/M/m. A construção de tais modelos pode representar, inclusive, uma validação adicional e formal do simulador desenvolvido.

Uma proposição futura consiste em aumentar a sofisticação do simulador, pela implementação de políticas híbridas de alocação e despacho, e pelo detalhamento de pontos do processo que foram simplificados na construção inicial. No primeiro caso, poder-se-á definir políticas que dividam as ocorrências em classes de prioridades – como de crimes em andamento e encerrados – e políticas de atendimento por tempo de ocupação para escolha das ocorrências dentro das classes. Mesmo havendo a implementação de uma política mista de despacho – prioridades com desempate no tempo de ocupação – outras formas de junção de políticas propostas e futuras poderão ser desenvolvidas no simulador. Ainda é interessante considerar políticas associadas a aspectos sociais e regionais.

Quanto ao refinamento do simulador, pode-se por exemplo, realizar a classificação de tipos de recursos diversificados, com número de policiais, custos e especializações de atendimentos específicos. Outra vertente é a caracterização da posição geográfica das viaturas

durante o recebimento de chamadas no COPOM e a proposição de políticas de escolha de viaturas mais adequadas para o atendimento. Esses avanços possibilitariam o refinamento dos resultados obtidos nas políticas de alocação e despacho de recursos. No entanto, estudo semelhante depende de fornecimento de dados que o viabilize. Os aperfeiçoamentos de políticas e do modelo do simulador permitirão avaliar qual o efetivo ideal para policiamento reativo, permitindo liberação de contingente excedente para as atividades preventivas.

Além disso, pode-se construir uma interface que integre as ferramentas de caracterização temporal, espacial e de simulações que apresentem resultados como os descritos neste trabalho, para outras bases de dados e para uso de sociólogos e demais estudiosos do assunto.

Bibliografia

- [1] Sérgio Adorno. A Criminalidade Urbana Violenta no Brasil – Um Recorte Temático. *Boletim Informativo e Bibliográfico (BIB)*, 1(35):3–24, 1993.
- [2] Lawrence E. Cohen e Marcus Felson. Social Change and Crime Rates Trends: A Routine Activity Approach. *American Sociological Review*, 44(4):588–608, agosto 1979.
- [3] George Kingsley Zipf. *Human Behavior and Principle of Least Effort: An Introduction to Human Ecology*. Addison Wesley, Cambridge, Massachusetts, 1949.
- [4] Antônio Luiz Paixão. Crimes e Criminosos em Belo Horizonte, 1932–1978. Em P. S. Pinheiro, editor, *Crime, Violência e Poder*. Brasiliense, São Paulo, 1983.
- [5] Edmundo Campos Coelho. *A Ecologia do Crime*. Comissão Nacional Justiça e Paz/Educam, Rio de Janeiro, 1978.
- [6] Edmundo Campos Coelho. A Criminalidade Urbana Violenta. *Dados – Revista de Ciências Sociais, IUPERJ*, 31(2):145–83, Rio de Janeiro, 1988.
- [7] Teresa R. do P. Caldeira. Ter Medo em São Paulo. Em V. C. Brant, editor, *Trabalhar e Viver*, p. 151–67. Brasiliense/Comissão Justiça e Paz, São Paulo, 1989.
- [8] Sérgio Adorno. *O Sistema de Administração da Justiça Criminal. (Fragmentação e Conflito no Caso Paulista)*. Relatório de pesquisa, convênio Secretaria de Ciência Tecnologia de São Paulo/NEV-USP, São Paulo, 1991.
- [9] Alba Zaluar. *O Rio Contra o Crime: Imagens da Justiça e do Crime*. Relatório de Pesquisa, convênio OAB/Finep, IUPERJ, Rio de Janeiro, 1989.
- [10] Edmundo Campos Coelho. Sobre Sociólogos, Pobreza e Crime. *Dados – Revista de Ciências Sociais*, 23(3):377–83, Rio de Janeiro, 1980.
- [11] Sérgio Abreu e Eliana Bordini. Estimativa da Reincidência Criminal: Variações Segundo Estratos Ocupacionais e Categorias Criminais. *Temas IMESC, Soc. Dir. Saúde*, 2(1):11–29, São Paulo, 1985.
- [12] Sérgio Adorno e Eliana Bordini. Reincidência e Reincidentes Penitenciários em São Paulo, 1974–1985. *Revista Brasileira de Ciências Sociais, ANPOCS*, 9(3):70–94, São Paulo, 1989.

- [13] Alba Zaluar. *A Máquina e a Revolta. (As Organizações Populares e o Significado da Pobreza)*. Brasiliense, São Paulo, 1985.
- [14] Alba Zaluar. Democracia Também Serve para os Pobres? *Presença. Revista de Cultura e Política*, p. 40–43, Rio de Janeiro, 1986.
- [15] Alba Zaluar. Quando o Malandro Dança. Em Número Especial Cadernos de Sociologia, editor, *Natureza, História e Cultura: Repensando o Social*, volume 4, p. 157–67. PPGS/UFRGS, Porto Alegre, 1983.
- [16] Sérgio Adorno. Criminal Violence in Modern Brazilian Society. Em *International Conference on Social Changes, Crime and Police*, 12p, Budapeste, junho 1992.
- [17] João Batista Herkenhoff. *Crime, Tratamento sem Prisão*. Vozes, Petrópolis, 1987.
- [18] Paulo Sérgio Pinheiro e Eric Braun. *Democracia X Violência. (Reflexões para a Constituinte)*. Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1987.
- [19] Antônio Luiz Paixão. A Organização Policial numa Área Metropolitana. *Dados – Revista de Ciências Sociais, IUPERJ*, 25(1):63–85, Rio de Janeiro, 1982.
- [20] Antônio Luiz Paixão. Crime, Controle Social e Consolidação da Democracia. Em G. O'Donnell e F. W. Reis, editors, *A Democracia no Brasil. Dilemas e Perspectivas*. Vértice/Revista dos Tribunais, São Paulo, 1988.
- [21] C. Beato Filho, R. Assunção, M. Santos, Cel. L. Santo, L. Saporì, E. Batitucci, P. Moraes, e S. da Silva. Criminalidade Violenta em Minas Gerais – 1986 a 1997. Em *XXII Encontro Anual da ANPOCS*, Caxambu, outubro 1998.
- [22] Cláudio C. Beato Filho, Geraldo Majella M. Duarte, Ilka Afonso Reis, Marcelo Ottoni Durante, Frederico Couto Marinho, e Bráulio Figueiredo Alves da Silva. *Atlas da Criminalidade de Belo Horizonte – Diagnósticos, Perspectivas e Sugestões de Programas de Controle*. CRISP, 2002.
- [23] Lawrence W. Sherman, Patrick R. Gartin, e Michael E. Buerger. Hot Spots of Predatory Crime: Routine Activities and The Criminology of Place. *Criminology*, 27(1):27–55, 1989.
- [24] John Eck. Preventing Crime at Places. Em Lawrence W. Sherman, Denise Gottfredson, Doris MacKenzie, John Eck, Peter Reuter, e Shawn Bushway, editors, *Preventing Crime: What Works, What Doesn't: What's Promising*. National Institute of Justice, 1997.
- [25] William Cook, Paul Ormerod, e Ellie Cooper. Scaling Behaviour in the Number of Criminal Acts Committed by Individuals. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2004(7):P07003, 2004. <http://stacks.iop.org/1742-5468/2004/P07003>.

- [26] Marvin E. Wolfgang, Terence P. Thornberry, e Robert Figlio. *From Boy to Man from Delinquency to Crime*. University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- [27] S. McLafferty, D. Williamson, e P. G. McGuire. Identifying Crime Hot Spots Using Kernel Smoothing. Em V. Goldsmith, P. G. McGuire, J. H. Mollenkopf, e T. A. Ross, editors, *Analysing Crime Patterns: Frontiers of Practice*, p. 77–86. Sage Publications, Thousand Oaks, California, 2000.
- [28] Richard Block. Gang Activity and Overall Levels of Crime: A New Mapping Tool for Defining Areas of Gang Activity Using Police Records. *Journal of Quantitative Criminology*, 16(3):369–383, setembro 2000.
- [29] A. Paixão, C. Beato Filho, e R. Assunção. *A Organização Policial e o Combate à Criminalidade Violenta*. CRISP, 2000.
- [30] Donald E. Brown. The Regional Crime Analysis Program (RECAP): A Framework for Mining Data to Catch Criminals. Em *International Conference on Systems, MAN, and Cybernetics*, San Diego, CA, outubro 1998. IEEE, Piscataway, N.J., 2848-2853.
- [31] LESTE Laboratório de Estatística Espacial. TerraCrime. <http://www.est.ufmg.br/leste/terracrime.htm>.
- [32] Louise Gunderson e Donald Brown. Using a Multi-Agent Model to Predict Both Physical and Cyber Criminal Activity. Em *IEEE Systems, Man, and Cybernetics*, 2000. <http://vijis.sys.virginia.edu/publication/SMCMultiAgent.pdf>.
- [33] Vasco Furtado e Eurico Vasconcelos Filho. Geosimulation in Education: The Expert-cop System. Em *Agent-based Simulation Workshop*, Lisbon, Portugal, maio 2004. SCS European Publisher.
- [34] H. Chen, D. Zeng, H. Atabakhsh, W. Wyzca, e J. Schroeder. COPLINK: Managing Law Enforcement Data and Knowledge. *Communications of the ACM*, 46(1):28–34, janeiro 2003.
- [35] D. A. Menascé, V. A. F. Almeida, R. Riedi, F. Ribeiro, R. Fonseca, e W. Meira Jr. A Hierarchical and Multiscale Approach to Analyse E-Business Workloads. *Performance Evaluation*, 54:33–57, 2003.
- [36] Eveline Veloso, Virgílio Augusto, Wagner Meira Jr., Azer Bestavros, e Shudong Jin. A Hierarchical Characterization of a Live Streaming Media Workload. Em *ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop*, Marseille, France, novembro 2002.
- [37] J. Almeida, J. Krueger, D. Eager, e M. Vernon. Analysis of Educational Media Server Workloads. Em *11th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV 2001)*, Port Jefferson, NY, junho 2001.

- [38] C. Costa, I. Cunha, A. Borges, M. Rocha, J. Almeida, e B. Ribeiro-Neto. Analyzing Client Interactivity in Streaming Media. Em *13th International World Wide Web Conference (WWW)*, New York City, NY, maio 2004.
- [39] Vern Paxson e Sally Floyd. Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(4):257–268, outubro 1994.
- [40] Vilfredo Pareto. *Cours D’Economie Politique*. Rouge, Lausanne, 1896.
- [41] Xavier Gabaix. Zipf’s Law for Cities: An Explanation. *Quarterly Journal of Economics*, 114(3):739–67, agosto 1999.
- [42] M. Arlitt e C. Williamson. Web Server Workload Characterization: The search of invariants. Em *1996 Sigmetrics Conference on Measurement of Computer Systems, ACM*, maio 1996.
- [43] L. Breslau, P. Cao, L. Fan, G. Philips, e S. Shenker. Web Caching and Zipf-like Distributions: Evidence and Implications. Em *IEEE Infocom*, p. 126–134, New York City, NY, março 1999.
- [44] Krishna P. Gummadi, Richard J. Dunn, Stefan Saroiu, Steven D. Gribble, Henry M. Levy, e John Zahorjan. Measurement, Modeling, and Analysis of a Peer-to-Peer File-Sharing Workload. Em *19th ACM Symposium on Operating Systems Principles*, p. 151–160, Bolton Landing, N.Y., 2003. ACM Press.
- [45] I. Katzela e M. Naghshineh. Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunications: A Comprehensive Survey. *IEEE Personal Communications*, p. 10–31, 1996. <http://citeseer.nj.nec.com/katzela96channel.html>.
- [46] Andrew S. Tanenbaum. *Operating System - Design and Implementation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
- [47] Abraham Silberschatz e Peter Baer Galvin. *Operating System Concepts*. John Wiley & Sons, 1997.
- [48] Su-Hui Chiang e Mary Vernon. Production Job Scheduling for Parallel Shared Memory Systems. Em *2001 International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2001)*, San Francisco, abril 2001.
- [49] Su-Hui Chiang, Andrea Arpaci-Dusseau, e Mary Vernon. The Impact of More Accurate Requested Runtimes on Production Job Scheduling Performance. Em *8th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (in conjunction with HPDC11/GGF5)*, Edinburgh, Scotland, julho 2002.
- [50] Su-Hui Chiang e Mary Vernon. Class-Partitioning Job Scheduling for Large-Scale Parallel Systems. Em *2004 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA’04)*, Las Vegas, junho 2004.

- [51] S.-H. Chiang e C. Fu. Re-evaluating Reservation Policies for Backfill Scheduling on Parallel Systems. Em *16th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS)*, Cambridge, MA, novembro 2004.
- [52] James F. Kurose e Keith W. Ross. *Computer Networking - A Top-down Approach Featuring the Internet*, chapter 7. Addison Wesley, 3rd edition, 2005.
- [53] A. Demers e Shenker S, Keshav abd S. Analysis and Simulation of a Fair Queuing Algorithm. *Internetworking: Research and Experience*, 1(1):3–26, 1990.
- [54] A. Parekh e R. Gallager. A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: The Single-Node Case. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1(3):344–357, junho 1993.
- [55] Polícia Militar de Minas Gerais. Centro de Operações Militares. <http://www.pmmg.mg.gov.br/cicop.htm>.
- [56] Kishor Shridharbhai Trivedi. *Probability and Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications*. John Wiley & Sons, Durham, North Carolina, 2002.
- [57] Ming Zhang e Tak-Shing Yum. The Non-Uniform Compact Pattern Allocation Algorithm for Cellular Mobile Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 40:387–391, 1991.
- [58] Se-Hyng Oh et al. Priotized Channel Assignment in a Cellular Radio Network. *IEEE Transactions on Communications*, 40:1259–1269, 1992.
- [59] Lewis Anderson. A Simulation Study of Some Dynamic Channel Assignment Algorithms in High Capacity Mobile Telecommunications Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 22:210–217, 1973.
- [60] Cisco Systems Inc. Advanced QoS Services for the Intelligent Internet. http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/ioft/ioqo/tech/qos_wp.htm.
- [61] B. L. Bowerman e R. T. O’Connell. *Forecasting and Time Series an Applied Approach*. Wadsworth Company, 1993.
- [62] Paul A. Fishwick. SimPack: Getting Started with Simulation Programming in C and C++. Em *Winter Simulation Conference*, p. 154–162, 1992. [cite-seer.nj.nec.com/fishwick92simpack.html](http://citeseer.nj.nec.com/fishwick92simpack.html).
- [63] Reuven Y. Rubinstein e Benjamin Melamed. *Modern Simulation and Modeling*. Wiley Interscience, 1998.
- [64] M. Galassi et al. *GNU Scientific Library Reference Manual*. Network Theory Ltd., 2nd edition, 2003. ISBN 0954161734.