



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Mestrado em Ciências da Computação

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E
PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE EM
CALL CENTERS DE SERVIÇOS DE
EMERGÊNCIA**

Alysson Barros da Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Recife
Agosto de 2010

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Alysson Barros da Silva

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E PLANEJAMENTO DE
CAPACIDADE EM CALL CENTERS DE SERVIÇOS DE
EMERGÊNCIA**

Trabalho apresentado ao Programa de Mestrado em Ciências da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Romero Martins Maciel

Recife
Agosto de 2010

Ao Grande e Supremo Deus.

À Minha Excelente Família.

Aos Meus Amigos.

Ao Prof. Dr. Paulo Romero Martins Maciel, orientador.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Ao professor Paulo Maciel, pela orientação, apoio e enorme paciência, elementos essenciais para o desenvolvimento deste estudo, bem como por todas as oportunidades de crescimento acadêmico e pessoal. Aos professores Djamel Sadock e Ricardo Salgueiro, por terem aceitado o convite para compor a banca de defesa do mestrado. A todos do grupo MoDCS (*Modeling of Distributed and Concurrent Systems*) em especial a Erica Souza e Elton Torres pela contribuição para a realização deste trabalho. Agradeço também à Aig Issy e Renan Luiz por toda contribuição dispensada e a todos os atendentes de *call centers* dos Estados, que cederam tempo e informações valiosas para este estudo. Gostaria de agradecer à minha família, em especial à minha mãe, Claudete Barros, à minha avó, Maria José, ao meu irmão, Anderson Barros, pelo incentivo, carinho e amor. Agradeço, sobretudo, a Deus, que colocou todas essas pessoas em meu caminho e que foi e sempre fonte maior de sabedoria e força.

É necessário que Ele cresça e que eu diminua.

—APÓSTOLO JOÃO BATISTA

RESUMO

Os *call centers* de serviços de emergência fornecem serviços de extrema importância para a sociedade, pois é a partir deles que são acionados os órgãos de segurança, resgate e socorro. Quando aciona um serviço de emergência, a população faz seu primeiro contato com um *call center*, para onde convergem todas as chamadas. Essa central faz o acionamento dos profissionais da Polícia Militar, Corpo de Bombeiros, Polícia Civil e da Polícia Científica. Baseado na importância dos serviços de emergência, é necessário que os *call centers* prestem seus serviços de forma eficiente, respeitando um tempo máximo de atendimento, diminuindo o tempo de resposta às chamadas o que pode salvar vidas, combater crimes, manter a segurança da sociedade e proporcionar maior qualidade de vida à população. Este trabalho faz a avaliação e o planejamento de *call centers* de emergências a partir de um modelo estocástico expolinomial para simular o ambiente real. Avaliou-se: o comportamento da taxa de ocupação na fila de espera; o número de ligações descartadas; a probabilidade de desistências das ligações telefônicas, e o número de servidores livres para dar o prognóstico da real necessidade dos servidores e a relação com o número de ligações suportadas do *call center*. Visou-se, assim, com base nos resultados obtidos pelo modelo gerado, diminuir o tempo de resposta das chamadas de emergência, bem como o tempo de espera para atendimento e reduzir, com isso, o número de abandonos das ligações telefônicas. O presente estudo proporcionou suporte a decisões para correções de problemas, como a má utilização dos serviços prestados. Um estudo de caso é apresentado para análise do impacto das variações da carga de trabalho no desempenho do *call center*, e o reflexo na taxa de ocupação na fila de espera, no número de ligações descartadas, na probabilidade de desistências das ligações telefônicas e no número de servidores livres. Foi feita a análise do impacto do aumento da fila de espera para atendimento e seu impacto no desempenho do *call center*.

Palavras-chave: Capacidade do *call center*, Desempenho de *call centers*, Planejamento de *call center*, Modelo Estocásticos Expolinomial, *call center* de Serviços de Emergência

ABSTRACT

Emergency call centers that provide emergency services are extremely important to the society because security companies, relief and rescue team are contacted from them. When an emergency service is contacted, the population makes its first contact with call centers which receive all telephone calls and get them connected to the professional Military Police, Fire Brigade, Civil Police or Forensic Science Police. Based on the importance of emergency services, it is necessary for call centers to provide efficient services respecting a maximum response time, reducing response time to calls which as a result several lives can be saved, crimes could be combated efficiently in a way that the security of the society is maintained and a better quality of life is derived. This work is the evaluation and planning of emergency call centers from an exponential stochastic model to simulate the real environment. We evaluated the behavior of the rate on the waiting list, the number of dropped connections, the probability of abandonment of telephone calls and the number of free servers to give the prognosis of the real need of servers and compared with the number of telephone calls supported by the call center, order based on the results generated by the model, to decrease the response time of these calls and the waiting time for care and thereby reducing the number of dropouts of calls. This work generated decision support for corrections of problems such as poor utilization of services. A case study is presented for analyzing the impact of variations in the workload on the performance of call centers and the reflection of the occupancy rate on the waiting list, the number of dropped connections, the probability of abandonment of telephone calls and the number of free servers. Analyzes were made on the impact of increased waiting list for care and its impact on the performance of call centers.

Keywords: Capacity of call center, Performance of call center, Planning of Emergency call centers, Exponential Stochastic Model, call centers of Emergency Services

SUMÁRIO

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiv
Lista de Abreviaturas	xv
Capítulo 1—Introdução	2
1.1 Contexto	2
1.2 Motivação	5
1.3 Trabalhos Relacionados	6
1.4 Objetivos	10
1.5 Estrutura da Dissertação	10
Capítulo 2—Trabalhos Relacionados	13
2.1 Tecnologia da Informação e Treinamento em Call Centers de Emergência	13
2.2 A Adoção e o Impacto da Resposta dos Serviços Avançados de Emergência	14
2.3 Plataforma para Modelagem, Simulação e Análise de Filas de Call Center	16
2.4 O Impacto das Rechamadas sobre o Desempenho do Call Center	17
2.5 Modelagem e Avaliação de Call Centers com Modelos SPN	19
2.6 Simulação por Computador de um Call Center de emergência	20
2.7 Otimizando o seu Call Center Através de Simulação	21

2.8	Considerações Finais	23
Capítulo 3—Sistemas de Call Centers de Emergência		25
3.1	Sistema das Centrais de Teleatendimento	25
3.2	Métricas para Avaliação do Call Center de Emergência	27
3.3	Call Center de Emergência do Estudo	28
3.4	Fluxo de atividades para Avaliação de Desempenho	30
3.5	Considerações Finais	34
Capítulo 4—Redes de Petri		36
4.1	Introdução	36
4.1.1	Propriedades das Redes de Petri	38
4.1.1.1	Propriedades Comportamentais	38
4.1.1.2	Propriedades Estruturais	40
4.2	Rede de Petri Estocástica	42
4.3	Moment Matching	46
4.4	Considerações Finais	52
Capítulo 5—Modelos Propostos		54
5.1	Modelo de Desempenho do Call Center de Emergência	54
5.2	Refinamento do Modelo de Desempenho do Call Center de Emergência	60
5.3	Considerações Finais	70
Capítulo 6—Estudo de Caso		72
6.1	Avaliação dos Trotes e Ligações Válidas nos Dias Úteis	73
6.2	Avaliação dos Trotes e Ligações Válidas nos Finais de Semana	73
6.3	Avaliação dos Trotes e Ligações Válidas	74

6.4	Simulações Realizadas para Análise e Avaliação do Call Center	75
6.5	Simulação para Previsão de Atendentes do Call Center	77
6.5.1	Simulação 1	77
6.5.2	Simulação 2	79
6.5.3	Simulação 3	82
6.5.4	Simulação 4	84
6.5.5	Simulação 5	86
6.5.6	Simulação 6	89
6.6	Considerações Finais	93
Capítulo 7—Conclusões e Trabalhos Futuros		96
7.1	Contribuições	97
7.2	Trabalhos Futuros	98
Apêndice A—Apêndice A		100
A.1	Sintaxe das expressões suportadas pelo TimeNet 4.0	100
A.1.1	Símbolos Usados	100
A.1.2	Definições da Sintaxe	101
A.1.3	Expressões especiais para definições de métricas	103
Referências		110

LISTA DE FIGURAS

1.1	Evolução do Número de Funcionários de <i>Call Center</i> no Brasil, 2003-2005	3
1.2	Esquema Operacional Simplificado de Um <i>Call Center</i> de Emergência	5
3.1	Faturamento com Serviços de <i>Call Center</i> no Brasil	25
3.2	Empregados das Principais Empresas de <i>Call Center</i> no Brasil	26
3.3	Esquema Operacional do Call Center de Emergência	29
3.4	Método para Avaliação de Desempenho	31
3.5	Fluxo de Medição de Desempenho	32
4.1	Elementos de rede de Petri	37
4.2	Exemplo de rede de Petri	37
4.3	Períodos do Dia	38
4.4	Técnicas de Redução	42
4.5	Geração de Gráfico de Alcançabilidade	46
4.6	<i>Throughput Subnets</i>	47
4.7	Distribuição Empírica	49
4.8	Distribuição Erlang	50
4.9	Distribuição Hipoexponencial	51
4.10	Distribuição Hiperexponencial	51
5.1	Model Abstrato	55
5.2	Sub-rede Chamadas Chegando	56
5.3	Sub-rede de Fila de Espera	58

5.4	Sub-rede Classificador de Chamadas	58
5.5	Sub-rede Atendentes Especiais	59
5.6	Modelo Refinado	63
5.7	Simulação da Polícia Militar	67
5.8	Simulação da Polícia Civil	67
5.9	Simulação dos Bombeiros	67
5.10	Simulação da Polícia Científica	68
5.11	Simulação de Chamadas Válidas	68
5.12	Simulação de Trotes	69
5.13	Simulação de Pedidos de Informações	69
5.14	Simulação de Chamadas Telefônicas Erradas	69
6.1	Chamadas Telefônicas em Dias Úteis	73
6.2	Chamadas Telefônicas nos Finais de Semana	74
6.3	Chamadas Telefônicas na Central de Emergência	75
6.4	Chamadas Telefônicas em Dias Úteis	75
6.5	Tamanho da Fila de Espera do <i>call center</i> de Emergência para 6500 chamadas	77
6.6	Descartes de 6.500 Chamadas Telefônicas	78
6.7	Desistências de 6.500 Chamadas Telefônicas	78
6.8	Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes	79
6.9	Tamanho da Fila de Espera do <i>call center</i> de Emergência para 7500 chamadas	80
6.10	Descartes de 7.500 Chamadas Telefônicas	80
6.11	Desistências de 7.500 Chamadas Telefônicas	81
6.12	Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes	81
6.13	Tamanho da Fila de Espera do <i>call center</i> de Emergência para 8500 chamadas	83

6.14	Descartes de 8.500 Chamadas Telefônicas	83
6.15	Desistências de 8.500 Chamadas Telefônicas	84
6.16	Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes	84
6.17	Tamanho da Fila de Espera do <i>call center</i> de Emergência para 9500 chamadas	85
6.18	Descartes de 9.500 Chamadas Telefônicas	86
6.19	Desistências de 9.500 Chamadas Telefônicas	86
6.20	Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes	87
6.21	Tamanho da Fila de Espera do <i>call center</i> de Emergência para 10000 chamadas	88
6.22	Descartes de 10.000 Chamadas Telefônicas	88
6.23	Desistências de 10.000 Chamadas Telefônicas	89
6.24	Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes	89
6.25	Tamanho da Fila de Espera do <i>call center</i> de Emergência para 10500 chamadas	91
6.26	Descartes de 10.500 Chamadas Telefônicas	91
6.27	Desistências de 10.500 Chamadas Telefônicas	91
6.28	Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes	92

LISTA DE TABELAS

5.1	Média e Desvio Padrão	62
5.2	Parâmetros de Distribuições Hipoexponenciais	62
5.3	Número das Chamadas de Emergência por Corporação	63
5.4	Métricas de Desempenho	65
5.5	Utilização dos Agentes Não Especializados	65
5.6	Utilização de Agentes Especializados	66
6.1	Utilização de Atendentes com 6.500 Ligações Telefônicas	79
6.2	Utilização de Atendentes para 7.500 Ligações Telefônicas	82
6.3	Utilização de Atendentes para 8.500 Ligações Telefônicas	84
6.4	Utilização de Atendentes para 9.500 Ligações Telefônicas	87
6.5	Utilização de Atendentes para 10.000 Ligações Telefônicas	90
6.6	Utilização de Atendentes com 10.500 Ligações Telefônicas	92

LISTA DE ABREVIATURAS

CTMC - *Continuous-Time Markov Chains.*

EUA - *Estados Unidos da América.*

FIFO - *First In, First Out.*

IDC - *International Data Corporation.*

INA - *Integrated Net Analyzer.*

IVR - *Interactive Voice Response.*

PN - *Petri Nets.*

SPN - *Stochastic Petri Nets.*

TimeNET - *Timed Net Evaluation.*

VRU - *Voice Response Units.*

Introdução

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma breve introdução aos *call centers* de emergência, destacando aspectos de desempenho e capacidade a serem avaliados nesse contexto. Em seguida, são apresentadas as motivações, os trabalhos relacionados, os principais objetivos e contribuições, além da estrutura da dissertação. O estudo avaliou a estrutura de um *call center* de emergência e as soluções disponíveis para otimizar o atendimento, com o objetivo de gerar melhor custo benefício para os centros de atendimento de emergência e fornecer informações confiáveis para dimensionamento e capacidade dos *call centers*, procurando dar maior eficiência e otimizar seus serviços.

1.1 CONTEXTO

O mercado brasileiro de soluções para *call center* e *contact center* superou US\$ 120 milhões em 2007. É o que aponta o estudo *Brazil Call and Contact Center 2008* da Corporação de Dados Internacional (IDC), que constatou um grande crescimento nesse mercado nos últimos anos, tanto na área de *outsourcing*, que responde por 55% desse total, como nos *call centers* internos. O estudo previu que o negócio de *call centers* deverá movimentar cerca de US\$ 200 milhões em 2012. O estudo avaliou as licenças de uso das soluções disponíveis para otimizar o atendimento, com o objetivo de entender o comportamento desse mercado, sua evolução e tendências [IDC08a]. A Figura 1.1 mostra a evolução do número de funcionários de *call center* no Brasil de 2003 a 2005 de acordo com os dados do Ministério do Trabalho e Emprego, indicando que existiam 241 mil empregos formais, em 2005, com crescimento superior a 90% em relação a 2003, quando foram contabilizados 125 mil empregos [MTE09].

O *call center* corporativo é composto por atendentes civis treinados para dar suporte aos possíveis problemas encontrados pelos seus clientes e comercializar serviços e produtos. O atendimento do *call center* corporativo civil é realizado, em primeiro momento, através de uma unidade de resposta automática (URA) que presta aos usuários do serviços dos *call centers* várias opções de atendimento que podem ser acionadas via teclado do

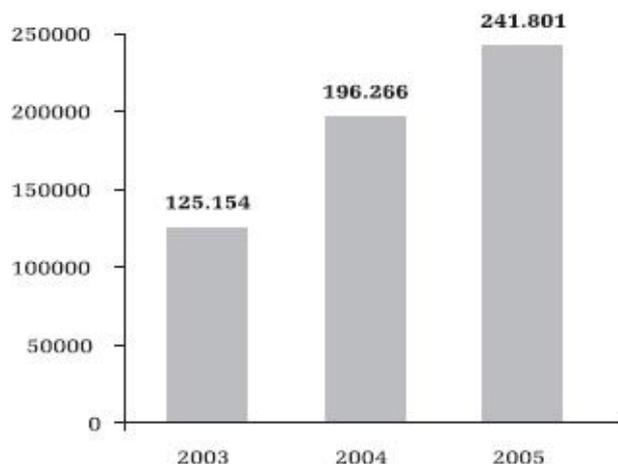


Figura 1.1: Evolução do Número de Funcionários de *Call Center* no Brasil, 2003-2005

aparelho telefônico ou por reconhecimento de voz. Logo após a escolha da opção de atendimento realizada pelo cliente, a chamada telefônica será encaminhada para uma gravação da resposta solicitada ou um atendente será acionado para receber o cliente e dar a melhor solução a necessidade do usuário do serviço. Vale salientar que na passagem da ligação telefônica da URA para qualquer opção de atendimento, sempre que não houver atendentes disponíveis ou as linhas telefônicas estiverem ocupadas, o usuário esperará por um período de tempo onde a lei brasileira preconiza o máximo de um minuto de espera e escutará uma música de fundo até o atendimento.

A partir de qualquer aparelho telefônico, e de forma gratuita, todo usuário pode entrar em contato com a central de emergência e acionar o serviço de emergência que esteja necessitado a qualquer dia e hora. O ambiente de um *call center* de emergência é composto por um sistema de recebimento e controle de chamadas formado por: atendentes civis e militares que recebem treinamento específico para atendimento de emergências e ainda possui coordenadores e supervisores destes atendentes com a função de manter a qualidade do serviço. Os usuários dos serviços de emergência podem utilizar números de telefone padronizados no Brasil como: 190 para a Polícia Militar, 193 Corpo de Bombeiros Militar e 197 Polícia Civil, que podem ser utilizados em qualquer lugar do país. Todas as chamadas são direcionadas para uma única central de atendimento e só depois de uma triagem por atendentes civis; as chamadas são separadas e direcionadas para os atendentes especializados, que acionam as viaturas e equipes que realizam o serviço de emergência no local da ocorrência. É utilizado um sistema com N agentes (com N maior do que 0) atendendo chamadas e $N+K$ linhas telefônicas (com K maior ou igual a 0). Um cliente

quando faz uma chamada telefônica de emergência, depara-se com três possibilidades iniciais de acordo com a Figura 1.2:

1. Atendimento imediato, caso haja um agente livre e a fila de espera esteja vazia;
2. Espera atendimento em fila, em caso de os agentes estarem ocupados e existir espaço livre na fila de espera;
3. Descarte da chamada telefônica de imediato, por não haver espaço na fila de espera (fila de espera totalmente ocupada), neste caso, o sinal de telefone ocupado estará presente.

Caso o cliente esteja em espera de atendimento na fila, existem duas possibilidades:

1. Esperar até ser atendido, quando algum agente tornar-se livre;
2. Abandonar o sistema sem ser atendido.

Os usuários que encontram a fila de espera cheia e são descartados automaticamente, bem como os usuários que abandonam a fila por impaciência, em sua maioria, originam novas tentativas de chamadas para a central de emergência. Ainda é possível detectar a ocorrência de novas chamadas, que correspondem aos clientes que foram atendidos de maneira não satisfatória e, em razão da não chegada e demora das viaturas e equipes de emergência para realizarem o seu serviço com eficiência.

Um dos maiores problemas encontrado no serviço de emergência é a grande quantidade de chamadas de emergência que chega a uma central de atendimento e, muitas delas, fazem com que os usuários em vez de serem atendidos de imediato ou demorem poucos segundos na fila de espera do sistema, esperem até por minutos na fila para serem atendidos ou, na pior das hipóteses, os solicitantes abandonam as ligações telefônicas por impaciência e voltam a ligar entrando no fim da fila. Isso porque o sistema de atendimento é baseado na regra FIFO (primeiro a entrar na fila é o primeiro a ser atendido) e ainda podendo, neste retorno da ligação, encontrar a fila cheia e, automaticamente, ter sua chamada perdida. Isso gera um grande problema com retorno das chamadas de emergência, refletindo o mau dimensionamento do *call center*. Portanto, quando um usuário do serviço de emergência aciona a central de emergência para uma ocorrência, e é prontamente atendido, um atendente civil faz uma triagem e classifica a ligação, passando-a para um atendente especialista. As ligações são classificadas da seguinte maneira: para a Polícia Militar, Polícia Civil, Polícia Científica ou, ainda, para o Corpo de Bombeiros, em ocorrências de salvamento, resgate, incêndio ou salvamento aquático. Depois de classificadas e recebidas pelos agentes especialistas, as chamadas de emergência

deveriam ser concluídas de imediato pelo acionamento do serviço por estes agentes, o que em muitos casos não ocorre, devido ao número insuficiente de atendentes especialistas. Essa situação provoca o retardo no serviço de emergência e reflete novamente a falta de um bom dimensionamento e desempenho dos *call centers*. Um esquema operacional de um *call center* de emergência descreve o seu funcionamento, como está descrito na Figura 1.2.

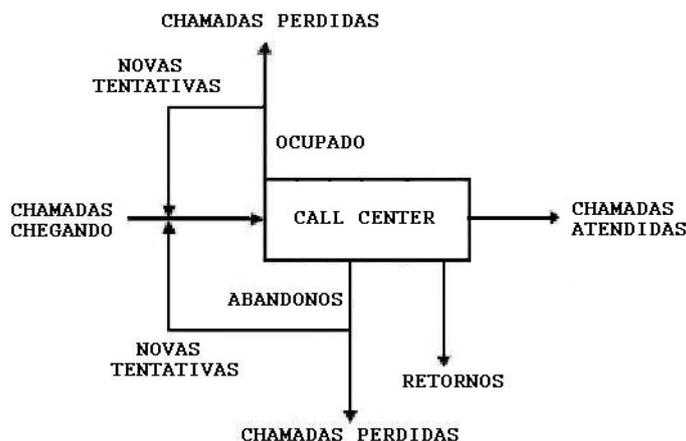


Figura 1.2: Esquema Operacional Simplificado de Um *Call Center* de Emergência

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação para este trabalho encontra-se na busca de solução para o problema do grande número de reclamações em relação ao alto tempo de resposta às solicitações de serviço dos Bombeiros e da Polícia que, em muitas vezes, se reflete em insatisfação da sociedade quanto aos serviços destes órgãos. O atraso na chegada aos locais de ocorrências de emergência tem levado à morte de várias vítimas por acidentes graves e prejudicando a ação dos Bombeiros e Policiais que, nos mais variados casos, poderiam ter impedido tragédias, acidentes e crimes. Verifica-se que o problema se inicia a partir dos *call centers* de emergência, os quais muitas vezes, estão empregando seus funcionários com base no empirismo de anos anteriores. O subdimensionamento da capacidade do *call center* pelo insuficiente número de funcionários, em determinados dias e horários, reflete em um grande número de abandonos de chamadas e gera grande quantidade de pessoas em fila de espera. Busca-se, com base nos resultados obtidos pelo modelo do *call center* e dados reais, diminuir o tempo de resposta das chamadas de emergência, bem como o tempo de espera para atendimento. Com isso, reduzir o número de abandono das ligações

telefônicas de emergência, dar suporte ao planejamento eficiente do *call center*, prevendo a sua capacidade, e avaliar sua produtividade com o intuito de otimizar recursos e os serviços prestados.

Atualmente, há uma grande utilização dos serviços de *call centers* de emergência, e espera-se que sejam mais usados no futuro, devido à crescente demanda. Observou-se, neste estudo, que o número de chamadas quase duplicou de 2008 a 2009 em apenas um estado do nordeste do Brasil. Devido aos grandes avanços na tecnologia da informação, o número, tamanho e alcance dos *call centers*, a quantidade de pessoas trabalhando nestes, bem como utilizando seus serviços vem crescendo durante a última década. Um exemplo é que, só nos EUA, a indústria dos *call centers* estima que se empreguem vários milhões de pessoas como agentes, ultrapassando a agricultura [MZ06].

É crescente a busca por maneiras com o intuito de diminuir o gasto excessivo com pessoal, equipamentos e *softwares*. O planejamento de *call centers* de emergências e a avaliação de desempenho permitem, portanto conseguir qualidade dos serviços prestados, infra-estrutura planejada e emprego eficiente de componentes do sistema para prover melhor performance e redução de custos. Verifica-se que as técnicas baseadas em modelagem podem representar sistemas dos mais variados níveis de abstração e, dessa forma, evidenciam maior segurança para resolução de problemas [MZ06, Jai91, MA05].

A evolução do mercado brasileiro é nítida, quando comparada a outros importantes mercados regionais e internacionais. Apesar da expressiva desvalorização que sofreu a moeda brasileira entre 2001 e 2002, o mercado brasileiro de serviços terceirizados de *Contact Center* cresceu, em 2005, cerca de 24,2% em faturamento (em dólares), enquanto o mercado da região EMEA (Europa, Oriente Médio e África) cresceu 18,2% e o da região das Américas, 19,5%, segundo José Roberto Mavignier, analista da (IDC) *International Data Corporation* no Brasil. Para uma idéia mais ampla, ele acrescenta a taxa de crescimento dos EEUU, que foi de 17,5%, e da Austrália, de 15% [IDC08a].

1.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nota-se, atualmente, que os estudos concernentes à preocupação com a qualidade dos serviços de emergência veem crescendo por se tratar de um sistema crítico, o qual, em perfeito funcionamento, pode salvar vidas.

Diferentes trabalhos têm sido propostos para avaliação de desempenho e planejamento de capacidade de *call centers*, mas nenhum deles alude à avaliação de desempenho

e planejamento de capacidade de *call centers* de serviços de emergência representado por modelos expolinomiais estocásticos [BGdMT06]. Athey e Stern[AS99] propõem um sistema de computador (E911) “*Enhanced 911*” para aumentar o desempenho do *call center* de emergência. Neste estudo, identificam a localização do chamado da operação de emergência e mostram que foi possível diminuir a resposta às chamadas de emergência, e em suas pesquisas, verificou-se o crescimento da produtividade do serviço do *call center*, reduziu-se o tempo de resposta às chamadas de emergência e, conseqüentemente, o número de mortes por ataques cardíacos na região. Nesta dissertação, as chamadas de emergência são localizados por um sistema seme-lhante ao *Enhanced*. Porém, as vítimas das mais variadas emergências, e não só de ataques cardíacos, são transportadas para hospitais por especialidades de atendimento e não por proximidade das ocorrências. Foi possível verificar que é possível obter melhorias no *call center* estudado pela ligação do sistema de identificação de chamadas de emergência com os bancos de dados dos hospitais. Infelizmente, o trabalho de Athey e Stern[AS99] mesmo tendo como um sistema *Enhanced 911* de grande potencial para atendimento de emergência, limita-se aos estudos de atendimento de ataques cardíacos pelo *call center* e não mostra o custo para implantação do sistema *Enhanced 911*. Mas, foi possível compreender e aplicar os objetivos deste trabalho em nosso estudo que possui uma abrangência bem maior e mais completa do *call center*.

O trabalho focado no *Enhanced 911* mostra a preocupação em dar maior eficiência com baixo custo aos serviços de emergência e ainda como é possível diminuir o tempo de atendimento às chamadas de emergência. O trabalho limita-se a estudar os atendimentos cardíacos nos EUA, porém é muito pertinente ao estudo dos *call centers* de emergência aqui estudado.

Athey e Stern [AS98] propõem ainda um modelo para escolha de funcionários por habilidades e indicam o treinamento, associado a um sistema eficiente de atendimento, como uma das formas para se ter o maior desempenho do *call center* de emergência. Porém, o nosso estudo constatou que, todos os funcionários recebem treinamento igual para atendimento de qualquer tipo de ocorrência de emergência da Polícia ou do Corpo de Bombeiros. Foi possível verificar que os atendentes do *call center* do nosso trabalho podem ser empregados em todas as áreas do centro de emergência, gerando maior eficiência e flexibilidade na utilização de funcionários. O trabalho de Athey e Stern [AS98] mesmo possuindo uma forma de treinamento eficiente, limita-se a utilizar os atendentes para atendimentos com foco nos ataques cardíacos ocorridos.

Saltzman e Mehrotra [SVM04] criaram uma interface em Excel para simulação, modelagem e análise do funcionamento de *call center* com sistema de filas. O trabalho apresenta métricas importantes que foram também utilizadas no nosso estudo, bem como sua forma de análise. Um dos maiores potenciais do estudo foi a criação de uma interface amigável para simulação do *call center* o que pode servir para uma abordagem de trabalhos futuros. Contudo, a abordagem é centralizada em apenas serviços de atendimento empresarial, havendo a necessidade de uma análise mais apurada para utilização em *call centers* de emergência em decorrência dos serviços especializados que prestam estes centros. Observou-se a grande importância do estudo para a avaliação do desempenho em *call centers* de serviços de atendimento empresarial corporativo, embora haja a necessidade de uma análise mais apurada para utilização em *call centers* de emergência em decorrência dos serviços especializados que prestam estes centros. O estudo contribuiu de sobremaneira para realização deste trabalho.

Aguir et al [AKZAC04] propõem um estudo do impacto dos retornos das ligações num *call center* com uma fila Markoviana estacionária e depois por uma fila não estacionária para obter melhoria da capacidade e desempenho. O estudo fez uma análise do impacto das chamadas em um *call center* de emergência, fato que foi observado também em nosso trabalho, mostrando que os usuários se comportam de maneira semelhante. O estudo ratificou os resultados do nosso trabalho em relação às chamadas por saída da fila de espera, devido a impaciência dos usuários. Um dos maiores potenciais do estudo foi a criação de um modelo indicado para prever o impacto dos retornos das ligações do *call center*. O nosso estudo apresenta um modelo (SPN) que estuda os passos das ligações de emergência no *call center*, partindo da entrada destas chamadas até o atendimento final e despacho dos veículos de emergência.

Fanaeepour et al [FNAA07] propõem um modelo de alto nível de um *call center* usando redes de petri estocástica (SPN), que avalia a diminuição de carga em relação ao número de chamadas aos atendentes pela inclusão do sistema Interactive Voice Response (IVR). Este atende as ligações de forma automática, analisando e classificando as chamadas antes dos atendentes. Trata-se de um trabalho importante para realização desta dissertação. Porém, o estudo não avalia o impacto negativo do IVR nos atendimentos como acontece muitas vezes. O trabalho mostra como o sistema de resposta interativa por voz pode ser empregado em um *call center*, e como pode diminuir a carga de ligações telefônicas nos atendentes. Porém foi avaliado que o sistema de resposta interativo por voz não se adequou às chamadas de emergência porque a agilidade e precisão são fatores essenciais aos atendimentos de emergência. O nosso estudo utilizou as bases do presente

trabalho como ponto de partida para criação do modelo (SPN).

Dugdale, J et al [DPS00] propõem a utilização de um simulador computacional baseado em um centro de chamadas de emergência. Eles descrevem sua criação a partir de fatores ambientais e cognitivos analisados e traduzidos em um projeto e, posteriormente, implementados usando uma abordagem orientada a objetos. O objetivo é dar suporte ao processo de redesenho do *call center* de emergência. O simulador proposto permite ao usuário testar os efeitos de novas organizações físicas, em que o foco principal é a modelagem, a análise do impacto do ambiente no serviço, o nível de ruído nas comunicações, o atendimento, o respeito mútuo e a comunicação no serviço, bem como a interrupção deste. O estudo analisou o desempenho dos funcionários através de tarefas como: despacho de viaturas de emergência, e ainda de fatores cognitivos através de um modelo que analisa as consequências de sobrecarga de chamadas de emergência no *call center*. O nosso trabalho apresenta um modelo de forma mais detalhada, estudando o número ideal de funcionários, com menor fila de ocupação e descarte e desistência das chamadas de emergência.

Hall e Anton [HA98] mostram a importância da utilização da simulação em *call centers* para prever recursos e a estrutura desses centros, bem como analisar sua capacidade e desempenho usando o *software CallSim*. Traçam regras de como utilizar a simulação para implantação e gerenciamento de *call center* de forma simplificada. O trabalho mostra que, se alguém pretende fazer mudanças principais ou ajustes secundários para processos em *call centers*, todos querem assegurar-se de que farão economias e desejam aplicar e detectar melhorias no atendimento ao consumidor, diminuir a retenção de chamadas e aumentar a rentabilidade. Portanto, podem ser usadas ferramentas de simulação para, efetivamente, verificar e justificar mudanças, testando meios alternativos de tomar decisões antes que elas sejam implementadas. Assim, foi explorada a simulação de computador, efetivamente, para evitar re-engenharia e efetivar um bom planejamento de um *call center*. O estudo mostrou a importância do uso da simulação em *call centers* com o sistema *CallSim*, o qual tem o maior foco em gerar um modelo simples e de forma rápida. Porém, o nosso estudo apresenta a simulação buscando a forma mais compreensível, eficiente e completa. Infelizmente, o modelo proposto deste estudo, por ser muito simplório, não contempla todos os aspectos do nosso estudo.

1.4 OBJETIVOS

Este trabalho objetiva o estudo detalhado dos *call centers* de emergência, bem como avaliar o impacto das ligações telefônicas na degradação do desempenho destes centros de emergência por meio de um modelo representado por uma rede de Petri estocástica (SPN). Essa avaliação é proposta através da variação da taxa de chegada de chamadas de emergência que entram no *call center*, analisando o número de descartes e desistências das ligações telefônicas, bem como o tempo de espera em fila, e a utilização dos funcionários no serviço de atendimento de emergência.

O modelo de desempenho depois de refinado e validado permitirá a avaliação e planejamento do *call center*. Será verificado, a princípio, o comportamento dos usuários do serviço de emergência. O estudo buscará identificar ainda, o menor número de descartes e desistências das chamadas das ligações telefônicas de emergência, no qual será possível observar o tamanho ideal da fila de espera a ser usada pelo *call center*.

A partir do modelo do *call center*, o objetivo do trabalho será: obter o número ideal de atendentes com menor número de pessoas aguardando em fila para ser atendidas, menor número de descartes das ligações de emergência e menor desistência das chamadas para o *call center* geradas pelos usuários de serviços de emergência.

Objetiva-se, ainda, a criação do modelo que possa servir de apoio à tomada de decisões em intervenções no *call center* com o objetivo de aumentar sua capacidade e desempenho. O modelo ainda poderá ser usado para a avaliação dos mais variados centros de emergência.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 2 apresenta os trabalhos relacionados, destacando as ligações com este trabalho e com os demais mencionados, assim como sua importância para elaboração e embasamento científico desta dissertação. O Capítulo 3 apresenta os sistemas de *call centers* e os *call center* de emergência. O Capítulo 4 apresenta noções gerais sobre o formalismo matemático Redes de Petri (RP), a extensão Redes de Petri estocásticas (SPN) e a técnica de aproximação de fases. Essas técnicas são fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. O Capítulo 5 apresenta o modelo e como este foi concebido para avaliação do *call center* de emergência e descreve seus componentes. Nele também é apresentada a validação do modelo. O Capítulo 6 apresenta o estudo de caso baseado no

modelo proposto e os cenários utilizados. O Capítulo 7 apresenta as conclusões obtidas durante o desenvolvimento desta dissertação, assim como suas principais contribuições. Finalmente, são apresentados trabalhos futuros que darão continuidade ao estudo aqui desenvolvido.

Trabalhos Relacionados

CAPÍTULO 2

TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados já citados neste documento de forma detalhada. Destacaram-se abordagens fundamentais, limitações, relação com este trabalho e com os demais mencionados e importância para elaboração e embasamento científico desta dissertação.

2.1 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E TREINAMENTO EM CALL CENTERS DE EMERGÊNCIA

Athey e Stern [AS99] estudam as causas e conseqüências de adoção da tecnologia por hospitais e sistema público de emergência, focando no serviço básico e no sistema *Enhanced* 911, criado para aumentar o desempenho do serviço do *call center*.

O serviço básico 911 é utilizado pela população para fazer um chamado de emergência para uma ocorrência policial ou para um serviço do Corpo de Bombeiros, com cujos atendentes destes órgãos, a sociedade faz seu primeiro contato. Portanto é proposto no trabalho um sistema chamado *Enhanced* 911 caracterizado por usar telecomunicações e informações tecnológicas. Estas identificam a localização da chamada de emergência cardíaca e mostra para o atendente, qual o hospital mais próximo e adequadamente equipado para realizar o socorro. Isso feito com base no banco de dados dos hospitais, em tempo real, para fazer o atendimento da solicitação com maior eficiência.

O estudo se inicia com a distribuição do sistema 911 através dos Estados dos EUA, mostrando que os serviços de emergência prestados em âmbito local estão ligados diretamente à renda e a fatores políticos, bem como à densidade da população daquela região.

Usando a base de dados de pacientes cardíacos na Pennsylvania, foi possível mostrar algumas características do sistema *Enhanced* 911, refletindo em maior desempenho no serviço de emergência 911, tais como: as ambulâncias acionadas, utilizando o *Enhanced*, chegam aos locais das ocorrências 5% mais rápido do que utilizando o serviço 911 normal.

2.2 A ADOÇÃO E O IMPACTO DA RESPOSTA DOS SERVIÇOS AVANÇADOS DE EMERGÊNCIA¹⁴

Os pacientes são transportados aproximadamente 10% mais rápido da cena do acidente até o hospital. Portanto, foi evidenciada a redução do tempo de resposta às chamadas de emergência e a diminuição da mortalidade das vítimas.

Depois da avaliação, em se constatando que a vítima carece de cuidados especiais, numa situação de emergência cardiológica, por exemplo; o transporte é facilitado. Isso é possível devido ao fato de que cidades com o sistema *Enhanced 911* podem identificar e indicar os hospitais com melhor e apropriada tecnologia para atendimento eficiente destas vítimas de acidentes. Os hospitais de emergência com suporte mais avançado e tecnologia para tratamento cardíaco podem receber maior parte dos pacientes cardíacos que receberam intervenção e direcionamento de uma equipe de profissionais da área de atendimento pré-hospitalar.

O trabalho focado no *Enhanced 911* mostra a preocupação em dar maior eficiência com baixo custo aos serviços de emergência e ainda como é possível diminuir o tempo de atendimento às chamadas de emergência. O trabalho limita-se a estudar os atendimentos cardíacos nos EEUU, porém é muito pertinente ao estudo dos *call centers* de emergência aqui estudado.

Nesta dissertação, as chamadas de emergência são localizadas por um sistema com semelhanças ao *Enhanced 911*. Portanto, as vítimas das mais variadas emergências, e não só de ataques cardíacos, são transportadas para hospitais por especialidades de atendimento e não por proximidade das ocorrências. Foi possível verificar que é possível obter melhorias no *call center* estudado pela ligação do sistema de identificação de chamadas de emergência com os bancos de dados dos hospitais. O trabalho de Athey e Stern[AS99] mesmo tendo como um sistema *Enhanced 911* de grande potencial para atendimento de emergência, limita-se aos estudos de atendimento de ataques cardíacos pelo *call center* e não mostra o custo para implantação do sistema *Enhanced 911*. Mas, foi possível compreender e aplicar os objetivos deste trabalho em nosso estudo, o qual possui uma abrangência bem maior e mais completa do *call center*.

2.2 A ADOÇÃO E O IMPACTO DA RESPOSTA DOS SERVIÇOS AVANÇADOS DE EMERGÊNCIA

Athey e Stern [AS98] propõem formas de se conseguir melhor desempenho dos *call centers* de emergência. Assim, em complemento ao trabalho citado anteriormente, foca agora em práticas que afetam a formação e qualificação dos atendentes de *call centers* de

emergência. Mostra-se a relação do recrutamento, seleção, total de horas de treinamento dos atendentes, bem como a adoção de uma formação específica para atendimento às chamadas de emergência em interação com o sistema *Enhanced 911* para aumentar o desempenho do *call center*.

Os resultados do estudo sugerem que a tecnologia *Enhanced 911* está positivamente relacionada com a total formação dos atendentes, que esta deve ser realizada por responsáveis pelo *call center*, sendo específica para o serviço de emergência a ser prestado.

Analisando os *call centers* de emergência que prestam serviço a um município dos EUA, operados para oferecer um serviço público, este geralmente financiado pelo Estado, que, por sua vez, vagamente regulamenta o serviço de emergência, nota-se que a maior parte dos *call centers* utiliza um número universal para atendimento. Esta tecnologia permite a concentração das chamadas de emergência e proporciona maior agilidade na resposta à solicitação. O atendimento, contudo, muitas das vezes é realizado por um atendente que faz diversas perguntas para saber a localização da ocorrência, para só depois enviar as equipes de emergência, com a demanda de um tempo precioso.

Portanto, por meio do sistema *Enhanced 911*, juntamente com o preparo técnico dos atendentes, houve diminuição do gasto de tempo com informações. Assim o sistema localiza o endereço do chamado em um banco de dados atualizado, e o atendente só confirma o endereço a ser enviado o socorro, bem como a gravidade da ocorrência de emergência, auxiliando o solicitante por telefone, podendo até salvar vidas. Além disso localiza e envia ambulâncias e equipes apropriadas, indicando o melhor hospital para socorro de vítimas segundo a emergência, com base em um treinamento específico de emergência e de atendimento pré-hospitalar de 40 horas.

Durante os primeiros anos, as equipes de atendimento dos *call centers* de emergência eram compostas por policiais e bombeiros despreparados, que, em diversas vezes foram considerados sem perfil para trabalhar nas ruas diretamente com a população. Em alguns casos, recebiam uma sanção em decorrência de fraco desempenho profissional nas ruas, e sem treinamento algum, trabalhavam nos *call centers* de emergência. O estudo, como se observa, utiliza-se do treinamento específico em emergência em conjunto com a o sistema *Enhanced 911* para se obter maior desempenho dos *call centers*.

O nosso estudo constatou que, todos os funcionários recebem treinamento igual para atendimento de qualquer tipo de ocorrência de emergência da Polícia ou do Corpo de Bombeiros. Foi possível verificar que os atendentes do *call center* do nosso trabalho podem ser empregados em todas as áreas do centro de emergência, gerando maior eficiência

e flexibilidade na utilização de funcionários. O trabalho de Athey e Stern [AS98] mesmo possuindo uma forma de treinamento eficiente, limita-se a utilizar os atendentes para atendimentos com foco nos ataques cardíacos ocorridos.

2.3 PLATAFORMA PARA MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE FILAS DE CALL CENTER

Robert Saltzman e Vijay Mehrotra [SVM04], em seu trabalho, partem do pressuposto de que o desempenho operacional dos *call centers*, em sua maioria, é medido através do tempo na fila e das taxas de abandono de clientes. Portanto, existe a necessidade premente de compreender como as políticas de gestão e os fatores estocásticos afetam essas estatísticas de desempenho. Dessa forma é utilizada a simulação para analisar a relação entre a política de gestão e os fatores estocásticos.

Notou-se que a falta de conhecimento em conceitos e treinamento específico para operar sistemas complexos criados para auxiliar no apoio de decisões tornou a função de administrador em um entrave para os gerentes dos *call centers* em fazer uso do modelo de simulação, então foi desenvolvida uma interface amigável de uma planilha eletrônica para o modelo de eventos discretos dinâmicos. O modelo está fundamentado em um sistema geral de filas em razão de a maioria dos resultados analíticos não estarem disponíveis. Utiliza-se a interface de uma planilha eletrônica para permitir aos gestores, de forma interativa, especificar uma vasta gama dos parâmetros do sistema e analisar os resultados, tudo sem expô-los aos componentes do modelo de simulação.

Para aumentar o uso do modelo proposto e facilitar a sua execução pelos atendentes e administradores do *call center* de emergência, foi criada uma interface baseada em uma planilha que já é familiar para esses. Para atender a necessidade da simplicidade e fácil operação pelos funcionários do modelo da central de emergência, foi elaborada uma interface com uma planilha eletrônica, responsável pela transferência de dados entre esta planilha e um pacote de *softwares* de simulação dinâmica (o Arena [ASS10]), auxiliando no gerenciamento das operações de um *call center*.

O interessante do estudo é que, a partir de uma planilha eletrônica, os gerentes do *call center* recebem valores de entrada tais como: intervalo de chegada das chamadas, tempo do atendimento e tempo de abandono, números de servidores e tamanho máximo da fila do *call center*. Eles geram informações do Arena [ASS10] e exportam para a planilha eletrônica, sendo de grande valia para o desempenho e capacidade do *call center*. É

possível coletar, a partir do modelo, métricas como: a taxa de utilização dos atendentes, taxa de pessoas que esperam em fila, tempo de espera em fila, tempo de espera no sistema, nível de serviço e taxa de abandono das chamadas.

Assim, a partir das informações geradas pelo modelo, são feitos experimentos para avaliar o nível de serviço prestado e comparar com o desejado. Comparam-se os efeitos dos clientes em espera e a taxa de espera. Analisa-se ainda o impacto da variação do tempo de chegada das chamadas e, por fim, faz-se uma avaliação do efeito do tempo médio de abandonos no desempenho do sistema.

Observou-se a grande importância do estudo para a avaliação do desempenho em *call centers* de serviços de atendimento empresarial corporativo, embora haja a necessidade de uma adaptação para utilização em *call centers* de emergência em decorrência dos serviços especializados que prestam estes centros.

O trabalho apresenta métricas importantes que foram também utilizadas no nosso estudo, bem como sua forma de análise. Um dos maiores potenciais do estudo foi a criação de uma interface amigável para simulação do *call center* o que pode servir para uma abordagem de trabalhos futuros. Contudo, a abordagem é centralizada em apenas serviços de atendimento empresarial, havendo a necessidade de uma análise mais apurada para utilização em *call centers* de emergência em decorrência dos serviços especializados que prestam estes centros.

2.4 O IMPACTO DAS RECHAMADAS SOBRE O DESEMPENHO DO CALL CENTER

Salah Aguir et al [AKZAC04] modelam um *call center* com uma fila Markoviana com múltiplos servidores, onde os clientes, devido ao tempo de espera para serem atendidos e, muitas vezes, por impaciência, desligam o telefone e voltam a ligar para a central de atendimento, assim, o impacto desses comportamentos no *call center* são estudados.

O problema mais encontrado atualmente nos *call centers* são os retornos das ligações, ocorrendo da seguinte maneira: um cliente liga para central de atendimento e tem duas possibilidades: a primeira é encontrar um atendente livre e ser atendido; a segunda é encontrar um atendente ocupado e ter de esperar em um fila, assim terá que aguardar um atendente ficar livre para que seja atendido. A maioria das pessoas que originam as chamadas não tem paciência de aguardar ao telefone até que sejam atendidas, então desligam e retornam a ligação. Isso gera grande transtorno, tais como: aumento do

número de chamadas recebidas, maiores filas de espera, sistema sobrecarregado diminuindo o desempenho do *call center*. Uma das razões das rechamadas, em decorrência de desistências de solicitantes em fila, acontecem em razão da falta de informação de como funciona o sistema de atendimento do *call center* de emergência. Em razão desse problema, neste estudo é feita uma análise estacionária através do modelo criado. A definição de aproximação do fluido é proposta e, em seguida, é realizada uma análise não-estacionária dos resultados da fila para analisar o impacto dos retornos das ligações no *call center* como um todo. A aproximação do fluido é indicado para trabalhar igualmente bem para a fila não-estacionário, com tempo variável de taxas de chegada das chamadas.

Usando a aproximação de fluidos, o trabalho explora o fenômeno das rechamadas para um *call center* real. O modelo é usado para estimar as reais taxas de chegada, com base em dados de solicitação dos serviços prestados, onde as rechamadas não podem ser distinguidas das chamadas ocorridas pela primeira vez. Este é um problema comum encontrado em *call centers*. Através de exemplos numéricos, é mostrado que se houver o descarte do fenômeno das rechamadas nos *call center* pode levar a distorções na previsão da real necessidade de pessoal para atendimento.

A taxa de retornos das chamadas pode ser obtida com a solução numérica de uma cadeia de Markov, mas esse cálculo é numericamente intensivo e bastante demorado. Embora o modelo estocástico possa ser usado para calcular numericamente as medidas de desempenho relacionadas a novos retornos de chamadas, é computacionalmente oneroso. Portanto usa-se uma aproximação simples que substitui o uso da cadeia de Markov.

Ao comparar sistemas com diferentes taxas de chegada e alocação de pessoal em vários períodos de tempo, é mostrado que existe um impacto significativo sobre a taxa de retornos das chamadas, tanto das taxas de chegada, quanto de distribuição pessoal. Assim, tendo a estimativa da taxa de chegada errada ou incorreta distribuição de pessoal em diferentes períodos de tempo haverá um efeito sobre os retornos de chamadas que são geradas.

O estudo fez uma análise do impacto das rechamadas em um *call center* de emergência, fato que foi observado também em nosso trabalho, mostrando que os usuários se comportam de maneira semelhante. O estudo ratificou os resultados do nosso trabalho em relação às rechamadas por saída da fila de espera, devido a impaciência dos usuários. Um dos maiores potenciais do estudo foi a criação de um modelo de fluxo contínuo determinístico indicada para prever o impacto dos retornos das ligações do *call center*, também é indicada para fornecer um método eficaz de análise no cenário com vários

períodos de funcionamento. O nosso estudo apresenta um modelo (SPN) que estuda os passos das ligações de emergência no *call center*, partindo da entrada destas chamadas até o atendimento final e despacho dos veículos de emergência.

2.5 MODELAGEM E AVALIAÇÃO DE CALL CENTERS COM MODELOS SPN

Maryam Fanaeepour et al [FNAA07] propõem um modelo SPN desenvolvido com a ferramenta de simulação SHARPE [TMT08, ECE08] com o objetivo de aumentar o desempenho do *call center*. Com a inserção de um sistema de atendimento e resposta interativa por voz (IVR), onde o usuário escolhe opções de atendimento verbalmente por *software*, busca-se diminuir a carga das chamadas telefônicas sobre os atendentes.

Portanto, levando em consideração que a indústria do *call center* vem crescendo rapidamente no número de trabalhadores que atuam nesta área, bem como a existência de uma busca incessante por menor custo e maior rendimento neste setor, é necessário que se tenha uma base confiável para estudo com a finalidade de gerar maior desempenho do *call center*.

A maioria dos *call centers* possui o sistema IVR, compostos por unidades de resposta por voz (VRUs). Esses possuem a possibilidade de interações. Mas, em geral, a tecnologia de voz é utilizada como uma extensão das chamadas para o *call center*. Como a maioria das pesquisas acadêmicas se baseia em uso de filas simples para estudar os *call centers*, e outras descrevem as características de forma teórica e por fórmulas matemáticas, isso levou o estudo a propor um modelo de alto nível representado por uma SPN com base em modelos disponíveis e pesquisas realizadas para que os resultados fossem comparáveis com outros estudos.

No passado o sistema IVR era um distribuidor automático de chamadas (ACD) com apenas opções de atendimento discado, mas hoje o IVR é uma unidade independente em um *call center*. Assim, o foco do trabalho foi a análise de minimização de carga de trabalho no ACD e dos agentes.

Um sistema IVR pode ser usado para automatizar uma ampla gama de serviços e solicitação de dados, ao combinar a entrada do chamado com as opções escolhidas no sistema pelos clientes, usando um telefone e interagindo com o sistema em tempo real em uma série de aplicações. Na verdade, é a última geração de reconhecimento da fala na qual a tecnologia IVR permite interpretar complexos comandos do usuário.

Além do reconhecimento da seleção da opção do usuário pelo teclado do telefone por entrada de comandos por toque, muitos sistemas IVR avançados podem facilmente utilizar o alto-falante do telefone para reconhecimento de voz, e permitir que o usuário simplesmente “fale” os pedidos que geram as respostas desejadas. Foram consideradas duas taxas variáveis de chamadas chegando e relacionadas com as transições de chegada de ligações para o sistema IVR e ACD, para analisar o número esperado de chamadas. Os resultados dessas análises demonstraram que, com atenção aos parâmetros definidos, o número esperado de chamadas no sistema IVR é crescente, e o número de chamadas em ACD decrescente. Na verdade, a maioria dos pedidos enviados a um sistema de *call center* vai para a unidade do sistema IVR e, assim, diminui a carga de trabalho dos agentes. Conseqüentemente, os custos de pessoal serão reduzidos.

Trata-se de um trabalho importante para realização desta dissertação, porém o estudo não avalia o impacto negativo do IVR nos atendimentos como acontece muitas vezes. O trabalho mostra como o sistema de resposta interativa por voz pode ser empregado em um *call center*, e como pode diminuir a carga de ligações telefônicas nos atendentes. Porém foi avaliado que o sistema de resposta interativo por voz não se adequou às chamadas de emergência porque a agilidade e precisão são fatores essenciais aos atendimentos de emergência. O nosso estudo utilizou as bases do presente trabalho como ponto de partida para criação do modelo (SPN).

2.6 SIMULAÇÃO POR COMPUTADOR DE UM CALL CENTER DE EMERGÊNCIA

Dugdale J. et al [DPS00] utilizam uma simulação computacional baseada em um *call center* de emergência. Os *call centers* de emergência, um exemplo perfeito de um complexo sistema cooperativo, estão passando por uma reorganização física.

O objetivo do simulador é ajudar no processo de redesenho e permitir testes a partir das ações do usuário e analisar o impacto realizado pelas novas organizações físicas. Embora baseada em um sólido arcabouço teórico, o simulador foi desenvolvido usando uma abordagem simples.

O foco do trabalho está em modelar e analisar como os fatores tais como: o nível de ruído, o atendimento, a interrupção, a cooperação e a comunicação podem afetar a eficiência do *call center*.

A metodologia empregada em uso é fortemente participativa, acredita-se, assim, que é bem mais adequada para o desenvolvimento de uma simulação computacional baseada

na complexa situação real de um *call center* de emergência com variadas configurações. Os fatores ambientais e cognitivos foram analisados, traduzidos em um projeto e, posteriormente, implementados, usando uma abordagem orientada a objetos. É mostrado o simulador baseado em um experimento utilizando dados obtidos a partir de observações do ambiente do mundo real.

O *call center* é baseado nas chamadas telefônicas dos arredores de Paris, ele serve uma região com cerca de um milhão de pessoas, atendendo às chamadas da Polícia e do Corpo de Bombeiros. Como o número de chamadas aumentou, a eficiência do centro (em termos do tempo necessário para lidar com incidentes e o uso eficiente dos recursos, etc) caiu.

O modelo simulou, não só as tarefas explícitas dos trabalhadores despachantes de viaturas de resposta às emergências, foi capaz também de simular os fatores cognitivos e ambientais tais como: a capacidade de um atendente para ouvir com atenção o solicitante e dar suporte a este com eficiência, lembrando que está lidando com acidentes e que sua intervenção é de extrema importância.

O modelo deu suporte à análise do que acontece durante uma situação de sobrecarga, quando o centro é inundado com as chamadas de emergência. Em particular, a análise foca na determinação das relações entre os seguintes fatores: o nível de conhecimento dos atendentes em responder às chamadas de emergência, aspectos ambientais tais como: o nível de ruído e posicionamento espacial dos trabalhadores, além da capacidade de atender de forma eficiente. Portanto foi criado um modelo para simular os aspectos cognitivos e ambientais do *call center* de emergência.

O estudo analisou o desempenho dos funcionários através de tarefas como: despacho de viaturas de emergência, e ainda de fatores cognitivos através de um modelo que analisa as consequências de sobrecarga de chamadas de emergência no *call center*. O nosso trabalho apresenta um modelo de forma mais detalhada, estudando o número ideal de funcionários, com menor fila de ocupação e descarte e desistência das chamadas de emergência.

2.7 OTIMIZANDO O SEU CALL CENTER ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO

Bill Hall et al [HA98] exploram as alternativas para o uso eficiente de simulação na avaliação de uma central de atendimento. Um dos desafios atuais para centrais de atendimento é oferecer um serviço com menor custo possível para os mantenedores do *call center* e atender de forma rápida e eficiente os clientes. Independentemente de grandes ou pe-

quenos ajustes no *call center*, é necessário ter a certeza da maneira como os mesmos impactam nos resultados destes centros, se melhoram o serviço ao cliente e gera um custo-benefício aceitável ao *call center*. Ferramentas de simulação podem ser usadas de maneira eficaz para verificar e justificar modificações no *call center*, através do teste de diversas alternativas antes da implementação.

A ferramenta escolhida para este tipo de análise é um produto chamado *CallSim* [CSS08], da *Systems Modeling Corp.* projetado especialmente para centrais de atendimento, o que significa clara vantagem sobre outros *softwares* convencionais de simulação. A maioria dos *softwares* de simulação é generalista e requer muito mais conhecimento para criação de modelos. Devido as dificuldades para aprender um novo *software*, não é prático para gerentes de centrais de atendimento utilizarem estes outros *softwares* sofisticados.

Durante a fase de avaliação da análise, o objetivo foi estabelecer um modelo de desempenho que representasse as operações atuais do *call center*. Este modelo mostra como a central está se comportando de acordo com o volume de ligações, capacidade de troncos, roteamento e número de atendentes. Depois, através da comparação com desempenho de outras centrais e *benchmarks* de mercado, avalia-se se os resultados estão acima do padrão do mercado, o impacto nos recursos da central e se o objetivo de melhoria do nível de serviço foi alcançado.

O modelo de simulação forneceu estatísticas de desempenho baseadas na quantidade de ligações recebidas, de utilização dos atendentes e roteamento de chamadas no *call center*. Essas estatísticas foram usadas para comparação entre a simulação e os relatórios de desempenho atuais da central.

Os resultados do estudo mostraram que o desempenho do *call center* pode ser aumentado, com nível de serviço de quase 100%. Também previu um número mínimo de abandonos, com tempo médio de resposta de 15 segundos e ocupação de atendentes menor que 50%. Porém, *call center* apresentava uma taxa de abandono de quase 30%, tempo médio de resposta de 45 segundos, uma ocupação de atendentes de 60% e um índice de ausências três vezes superior à média do setor.

Portanto é necessário assegurar-se de que em cada caso, para tentar dar maior desempenho ao *call center*, estamos afetando o modelo de negócio. Antes de efetivar as mudanças, podemos usar simulação para descrever, testar e comparar alternativas em relação à situação atual. A tecnologia de simulação oferece um estudo rigoroso e facilita a compreensão do impacto das mudanças na operação dos negócios.

O estudo mostrou a importância do uso da simulação em *call centers* com o sistema *CallSim*, o qual tem o maior foco em gerar um modelo simples e de forma rápida. Porém, o nosso estudo apresenta a simulação buscando a forma mais compreensível, eficiente e completa. Infelizmente, o modelo proposto deste estudo, por ser muito simplório, não contempla todos os aspectos do nosso estudo, como por exemplo: a análise do tempo médio entre ligações para verificar a frequência das ligações e ainda detectar o tempo ocioso dos funcionários; o estudo do número de chamadas descartadas para dar suporte na melhor decisão da escolha do número de atendentes no *call center* de emergência; o tamanho da fila de espera e sua influência no desempenho do *call center* de emergência e ainda o estudo da probabilidade de desistência dos solicitantes.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou algum dos trabalhos mais importantes de um conjunto de estudos analisados, com a intenção de dar as bases científicas para a elaboração desta dissertação. Foi possível destacar contribuições atuais e relevantes no estudo de *call centers*, tanto corporativos como em *call center* de emergência, destacando as relações entre os trabalhos e mencionando os pontos fortes e limitações, dando um grande amparo para o conhecimento geral dos *call centers*.

Sistemas de Call Centers de Emergência

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE CALL CENTERS DE EMERGÊNCIA

Este capítulo traz uma apresentação sobre os sistemas de *call centers* de emergência e os sistemas de *call centers* corporativo, suas características, semelhanças, diferenças, bem como o funcionamento, estruturas e suas funções. Em seguida, expõe as métricas importantes utilizadas para avaliar os *call centers* de emergência, considerando a satisfação, no que diz respeito à qualidade de serviço e custos associados. Ainda é feita a apresentação do *call center* avaliado. Finalmente, apresenta o fluxo de atividades, os recursos utilizados para execução deste estudo.

3.1 SISTEMA DAS CENTRAIS DE TELEATENDIMENTO

Existem, hoje, no Brasil, mais de 127 milhões de pontos de teleatendimento, com mais de 142 milhões de empregados, com um faturamento superior a 142 milhões de reais. É o que mostra as Figuras 3.1 e 3.2 do estudo da IDC, de 2003 a 2007 [IDC08b]. Exige-se uma grande procura pelo aumento do desempenho dos *call centers*, com o intuito de oferecer melhor atendimento com menor custo possível. Assim, várias tecnologias são propostas, bem como estudos de comportamento dos funcionários, da interferência do ambiente físico no trabalho, da carga horária de trabalho e até da ergonomia dos equipamentos utilizados e treinamento oferecido aos funcionários, sempre buscando o melhor desempenho desses centros.

Fonte IDC	2005	2006	2007
Faturamento (R\$ Milhões)	4,3	5,2	6,1
PAs (milhares)	88	101	127

Figura 3.1: Faturamento com Serviços de *Call Center* no Brasil

Sempre que se pensa em gerar maior desempenho e aumentar a capacidade de um *call center*, faz-se necessário conhecer bem seu funcionamento, seus componentes humanos e tecnológicos, sua estrutura, seus pontos fortes e limitações. É imprescindível, portanto,

Call Center	Grupo	2003	2004	2005	2006	2007
Atento	Telefonica	35000	38.000	52.000	54.485	65.000
Contax	Telemar	28.032	37.926	49.554	49.132	61.397
Brasil Center	Embratel	4.671	6.482	6.159	6.914	7.809
ACS	Algar	6.000	6.513	6.255	6.739	ND
Total	-	73.703	88.738	113.968	117.270	142.306

Figura 3.2: Empregados das Principais Empresas de *Call Center* no Brasil

esclarecer que hoje, no Brasil e no mundo, existem os *call centers* corporativos e de emergência.

Os *call centers* corporativos são centros com vários pontos de atendimento, compostos de uma cabine, com um computador, ligado a um ponto de voz, operando um sistema de teleatendimento auxiliar no recebimento e na realização de chamadas. Também são utilizados *softwares* que monitoram e gravam as ligações telefônicas e controlam o fluxo das chamadas, fornecendo dados para o melhor gerenciamento dos recursos humanos e tecnológicos. Os *call centers* corporativos voltam-se, exclusivamente, ao maior ganho das empresas, pois, a partir deles, é possível fazer negócios como vendas e liberação de serviços pagos pelo usuário. Servem também como o retorno da opinião de clientes dos serviços e produtos fornecidos pelas empresas, sendo de grande importância para o crescimento, controle de qualidade e para manter a reputação destas entidades corporativas, atuam com uma forma de interagir e criar relacionamento com seus clientes. Assim, as chamadas, constituem em sua maioria reclamações, dúvidas e sugestões, bem como para compra de produtos e serviços. São realizados por um número telefônico único do tipo 0800 sem ônus para o cliente. Recentemente, têm sido utilizados, também, os números 0300, cujo custo de ligação fica por conta do cliente. A ligação entra na central e um *software* de gerenciamento distribui automaticamente as chamadas aos atendentes, possibilitando o atendimento aos usuários finais. Vale salientar que este trabalho não contempla as centrais 4000 que são centrais de alarme interligadas aos quartéis da Polícia mais próximos, os quais são acionados por porteiros de prédios treinados e agilizam o emprego dos policiais, em razão de não fazerem parte do sistema dos *call centers*

Os *call centers* de emergência são um caso especial por se tratar de centros sem fins lucrativos e que tratam de serviços críticos. Nestes o tempo de atendimento pode fazer a diferença entre a vida e a morte, bem como impedir diversos crimes, proteger bens, manter a integridade da população e dar segurança a todos, sendo um fator essencial para a vida. Atende, em todo o Brasil, pelos números: 190 da Polícia Militar, 197 da Polícia Civil

e 193 do Corpo de Bombeiros, pelos quais de forma gratuita, todos os serviços podem ser acionados por qualquer pessoa. Atualmente, no Brasil, a maioria dos *call centers* está estruturada da seguinte maneira: as ligações entram na central de emergência, que centraliza todas as chamadas da Polícia Militar, Polícia Civil e Corpo de Bombeiros, então um sistema de computador distribui as chamadas para cada especialidade. Neste momento, um profissional da Polícia ou do Corpo de Bombeiros atende (em outros casos são atendentes civis treinados), faz uma triagem das ocorrências e só assim passa para os policiais ou bombeiros, estes acionam as viaturas nas ruas, confirmam a veracidade da ocorrência, colhem informações valiosas, repassam para as equipes em deslocamento, auxiliando também as vítimas como devem proceder antes da chegada dos policiais ou bombeiros aos locais das ocorrências.

3.2 MÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DO CALL CENTER DE EMERGÊNCIA

Para o estudo apurado dos *call centers* de emergência, é necessário que se tenham métricas confiáveis e que sejam relevantes para dar apoio à decisão no estudo de avaliação do desempenho e planejamento da capacidade destes centros.

Portanto, para a análise dos *call centers* de emergência, foram utilizadas as informações relativas aos anos de 2008 e 2009. Verificou-se que a duração média das ligações do *call center* estudado ficou em torno de um minuto, onde o atendente civil recebe a ligação telefônica, coleta as informações do solicitante, transfere os dados da chamada a um atendente especializado o qual aciona o serviço requerido. Sendo assim, esta é uma das métricas, juntamente com o número de descartes, o número de desistências, de trotes, solicitação de informações e de ligações válidas e por engano, importantes para validar o modelo proposto e ainda verificar a relação entre o número de ligações que chegam e o número de atendentes necessários no centro de emergência.

Analisa-se o tempo médio entre ligações para verificar a frequência das ligações e ainda detectar o tempo ocioso dos funcionários. Utiliza-se o número de chamadas descartadas para dar suporte na melhor decisão da escolha do número de atendentes no *call center* de emergência, assim buscou-se a manutenção do número de funcionários para se ter a menor quantidade de descartes possíveis como um dos focos deste trabalho. Outra métrica estudada foi o tamanho da fila de espera e sua influência no desempenho do *call center* de emergência, pois a dimensão da fila está diretamente relacionada com o tempo de espera para atendimento dos solicitantes, e seu mau dimensionamento pode acarretar

em um número elevado de descartes.

Estuda-se a probabilidade de desistência dos solicitantes que foi uma das métricas utilizadas para aumentar o desempenho do *call center* e otimizar seu funcionamento. O estudo busca a diminuição da desistência dos usuários dos serviços prestados pelo centro de emergência, o qual ocorre de forma rotineira e causa grandes problemas a todo sistema de atendimento de emergência.

Foram analisadas as métricas referentes ao número de servidores civis livres e de servidores especializados (policiais ou bombeiros) livres para avaliar o nível de utilização e aproveitamento dos funcionários, a fim de evitar mau dimensionamento do *call center*, gerando uma base confiável para o emprego eficiente dos atendentes.

Utiliza-se, também, os números de ligações válidas, de trotes, de ligações erradas e de ligações solicitando informações, tudo isso para validar o modelo proposto nesta dissertação, bem como para avaliação de desempenho do *call center* de emergência.

Foram usados ainda os números de servidores utilizados para atender ligações válidas, pedidos de informação e ligações erradas na central, a fim de verificar como estavam distribuídos os serviços no *call center* de emergência, para analisar a quantidade das ligações por tipo, bem como para conferir se o centro estava cumprindo com o seu objetivo principal que era atender ligações de emergência.

Foi possível analisar os números de ligações destinadas à Polícia Militar, à Polícia Civil, ao Corpo de Bombeiros e Polícia Científica, em um quadro geral de chamadas para órgãos pertencentes ao *call center*, para que fosse possível verificar as demandas para cada serviço.

Por fim, estudou-se o número de servidores utilizados, atendendo ligações da Polícia Militar, da Polícia Civil, do Corpo de Bombeiros e da Polícia Científica, para constatar se o número dos servidores era ideal e se estes funcionários estavam sobrecarregados ou ociosos.

3.3 CALL CENTER DE EMERGÊNCIA DO ESTUDO

O presente estudo foi realizado em um *call center* de emergência brasileiro com características comumente encontradas nos centros de emergência no mundo inteiro. A partir de uma ligação telefônica, qualquer usuário pode fazer a abertura de uma ocorrência e solicitar os serviços da central de emergência. Portanto a ligação telefônica chega à cen-

tral pelo chamado de qualquer um dos números: 190 da Polícia Militar, 197 da Polícia Civil e 193 do Corpo de Bombeiros, pois o sistema concentra todas ligações para a central única de atendimento responsável por todas as chamadas de emergência do Estado.

Vale salientar que todas essas chamadas podem ter acesso à fila de espera que tem um tamanho pré-determinado, no qual o solicitante pode ser atendido de imediato, se houver atendente livre; ou aguardar na fila até ser atendido. Caso a fila esteja cheia e todos os atendentes estejam ocupados, a chamada é automaticamente descartada, e um sinal de telefone ocupado é ouvido pelo usuário quando efetua a ligação telefônica. Isso ocasiona chamadas perdidas pelo sistema, o que, em quase 100% das vezes, provoca novas tentativas de ligação, porque o usuário necessita urgentemente do serviço. A população, quando faz a solicitação, está fortemente dependente da execução do serviço. Pode acontecer, também, que o usuário entre na fila e desista da espera, assim abandona a ligação, isso irá gerar chamadas perdidas e novas tentativas de chamadas de emergência.

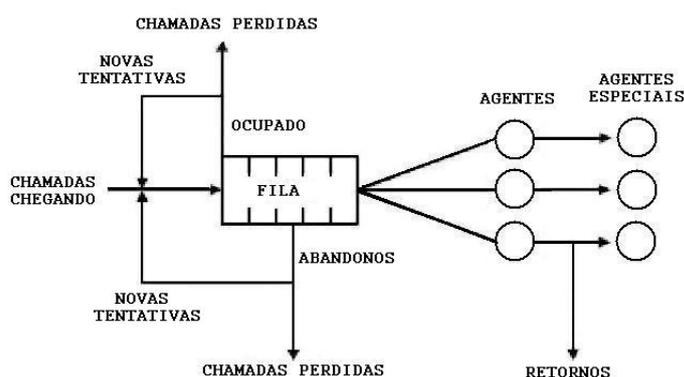


Figura 3.3: Esquema Operacional do Call Center de Emergência

Quando o usuário de serviço de emergência sai da fila de imediato é atendido por um agente que, no *call center* estudado, é um profissional civil que recebe treinamento na área de atendimento de emergência e que é responsável por fazer a triagem dos atendimentos. Assim, confirma a localização da ocorrência de emergência, coleta os dados dos solicitantes e informações importantes tais como: pontos de referência, características das ocorrências, número de vítimas e condição das mesmas dentre outras informações de grande valia para as equipes que irão se deslocar ao evento e aciona órgãos de apoio quando necessário.

Em seguida, os atendentes civis, também chamados de agentes, passam as chamadas para os agentes especiais, estes são compostos por policiais militares e bombeiros, que acionarão as viaturas para se deslocarem para a ocorrência. Seguem, então, os veículos que estão disponíveis e encontram-se mais próximos ao local. Essas chamadas chegam aos

agentes depois de realizada a triagem e depois de separados por setores, pois os atendimentos do Corpo de Bombeiros, por exemplo, são divididos em salvamento aquático, atendimento pré-hospitalar, incêndio, salvamento terrestre e em altura. Seus atendentes acionam as viaturas, ligam para os solicitantes e auxiliam nos procedimentos, que devem ser executados até a chegada da equipe de emergência especializada ao local da ocorrência. Podem também acionar o órgão de apoio quando necessário. A Polícia Militar divide também seus funcionários especializados por serviços prestados tais como: policiamento de trânsito, cavalaria motorizada, policiamento com cães, com auxílio de motocicletas, operações especiais, dentre outros. A Figura 3.3 mostra todo o processo de atendimento das ligações telefônicas de emergência, desde a entrada até o final do atendimento.

3.4 FLUXO DE ATIVIDADES PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A estratégia adotada para avaliação de desempenho do *call center* de emergência é composta de dez etapas: a compreensão do problema e entendimento do sistema; medição; geração do modelo abstrato; análise de propriedades e validação do modelo abstrato; geração do modelo refinado; análise de propriedades e validação do modelo refinado; mapeamento das métricas de desempenho, validação quantitativa; escolha do método de avaliação e avaliação de cenários. A Figura 3.4 mostra o diagrama de atividades do método para avaliação de desempenho do *call center* de emergência [Sou09a].

A primeira etapa do método para avaliação de desempenho corresponde ao estudo e à compreensão do problema a ser analisado e a identificação dos componentes do *call center* de emergência. Nesta etapa, deve-se analisar o impacto das entradas de ligações no *call center*, que impactam no desempenho da infraestrutura do *call center* de emergência, assim como deve definir-se os critérios de desempenho que serão considerados no processo de avaliação.

A etapa de medição compreende a elaboração de um documento que descreve como a medição deve ser realizada. Esse documento aborda quatro fases para realização da medição: planejamento; coleta de dados; análise de dados e tratamento estatístico dos dados.

A fase de planejamento tem como resultado um documento descrevendo a forma como a medição deve ser realizada. Esse documento contém informações sobre “o quê”, “onde”, “como”, “quem”, “quando” e a “frequência” do processo de coleta dos dados, assim como

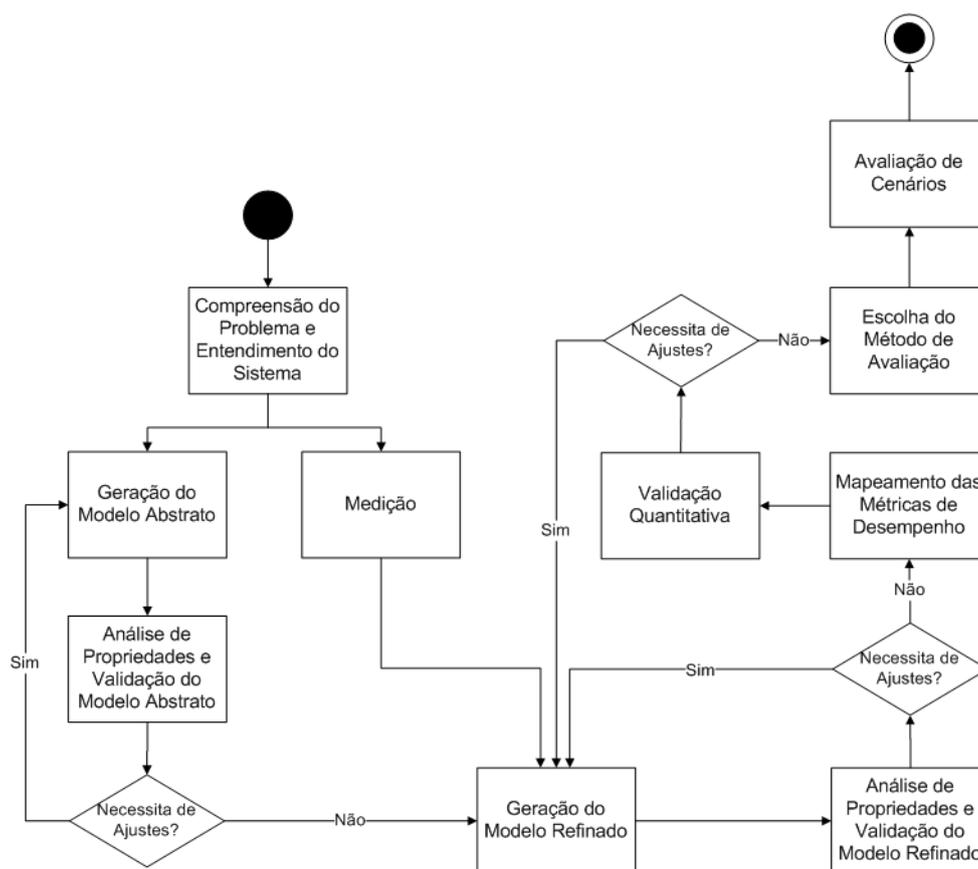


Figura 3.4: Método para Avaliação de Desempenho

a forma de armazená-los, o plano de análise e quem deverá realizar cada tarefa. Ao primeiro passo um conjunto de critérios subjetivos devem ser transformados em métricas de desempenho. Em seguida é identificado e definido o ambiente de medição. Logo após, realiza-se a especificação de como realizar as medições do processo de calibração dos equipamentos e ferramentas utilizadas. É definida a pessoa responsável pela execução da medição. O tempo e a frequência são a garantia da representatividade dos dados coletados.

A fase de coleta dos dados corresponde à obtenção dos dados durante a operação do sistema não é uma tarefa trivial uma vez que deve ser feita sem que nele haja interferência nestes, pois isso afetaria os resultados. É necessário um quantitativo essencial de dados para realizar a análise de forma aceitável tais como: fatos, informações e estatísticas fundamentais, derivados de observações, experiências pessoais ou de arquivos históricos. Nessa fase, define-se o formato em que os dados serão coletados e onde serão armazenados para posterior análise. Vale salientar que todos os dados foram coletados pelo sistema

EasyCall [EAS10], da Digtro do Brasil, implantado no *call center*, bem como de um sistema *Web* [SWA08] que armazena os dados das ocorrências no centro de emergência. Foram feitas, ainda, consultas com os funcionários a cada resultado para dirimir dúvidas em relação à algumas conclusões tomadas no estudo e ter mais uma confirmação das abordagens do trabalho.

A fase de análise dos dados corresponde à aplicação de métodos estatísticos nos dados coletados com o objetivo de fornecer informações precisas a respeito do sistema em avaliação. As estatísticas de maior interesse no estudo são a média (μ_D), o desvio padrão (σ_D) e o coeficiente de variação.

A fase de tratamento estatístico dos dados utiliza o *moment matching* [DAJ95] para calcular os dois primeiros momentos da distribuição empírica (dados coletados), a média (μ_D) e o desvio padrão (σ_D). As estatísticas obtidas permitem a seleção da distribuição expolinomial (hipoexponencial, hiperexponencial ou *erlang*) que melhor se adapta à distribuição empírica. A Figura 3.5 apresenta o diagrama de atividades de medição [Sou09b].

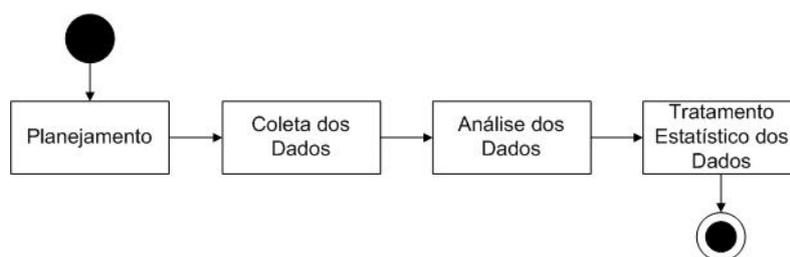


Figura 3.5: Fluxo de Medição de Desempenho

A etapa de geração do modelo abstrato corresponde à geração do modelo de desempenho, que é utilizado para compreender o comportamento do sistema e estimar o desempenho desse sistema quando submetido a diferentes cargas de trabalho ou variações na infraestrutura. Os modelos podem ser expressos em diferentes níveis. A escolha da granularidade determina as análises que podem ser realizadas, dependendo do detalhamento dos componentes do sistema [MA05].

A etapa de análise de propriedades e validação do modelo abstrato tem como objetivo a verificação das propriedades qualitativas [MLC96, Mur89] e a validação do modelo. Essa etapa ocorre após a geração do modelo abstrato. Nessa etapa, são avaliadas propriedades como: alcançabilidade, limitação, segurança, *liveness* e cobertura. A verificação dessas propriedades permite a validação do modelo gerado. No processo de análise e validação, pode-se observar a necessidade de ajustes no modelo. Após os ajustes, o modelo deve ser novamente analisado e validado. Após a etapa de análise qualitativa e validação do modelo

abstrato e da etapa de medição, o modelo refinado deve ser obtido e, posteriormente, analisado qualitativamente e validado.

A etapa de geração do modelo refinado corresponde à geração do modelo de desempenho em função do modelo abstrato e das estatísticas obtidas na fase de medição. Essas estatísticas sugerem o tipo de distribuição expolinomial que melhor se adapta à distribuição empírica (dados coletados). Essa adequação é realizada com o auxílio da técnica de *moment matching* [DAJ95], que calcula os dois primeiros momentos da distribuição empírica, a média (μ_D) e o desvio-padrão (σ_D). Dessa forma, primeiro se determina qual o tipo de distribuição expolinomial melhor se adapta aos dados coletados, em seguida, encontram-se os valores dos parâmetros numéricos da distribuição expolinomial escolhida.

Assim como, no modelo abstrato, o modelo refinado deve ser qualitativamente analisado e validado; a verificação de propriedades como alcançabilidade, limitação, segurança, *liveness* e cobertura permite a validação do modelo refinado [MLC96, Mur89].

O mapeamento das métricas de desempenho corresponde ao processo de representação do conjunto de critérios de avaliação em métricas através de referências aos elementos do modelo refinado obtido.

A etapa de validação quantitativa analisa se os resultados das métricas de desempenho calculadas pelo modelo são comparáveis aos obtidos através de medições no sistema, considerando um erro de exatidão aceitável.

Após validação quantitativa do modelo, as técnicas de avaliação devem ser escolhidas. A escolha do método apropriado depende, fundamentalmente, das métricas a serem avaliadas e das características do modelo desenvolvido. Para que o modelo seja analisável, é necessário que tenha algumas propriedades qualitativas (nas etapas anteriores de Análise de Propriedades e Validação - Ver Seção 4.1.1).

A escolha da técnica de simulação foi realizada por se adequar de maneira eficiente na validação do modelo proposto, pois a avaliação depende também dos recursos computacionais disponíveis, uma vez que a análise exige mais recursos de memória que a simulação, dada a necessidade do armazenamento do espaço de estados. Embora a simulação não demande recursos de armazenamento substanciais, os resultados computados são aproximações, diferentemente da análise que fornece resultados exatos. Porém as aproximações apresentaram valores confiáveis e representaram o *call center* de emergência com fidelidade.

A etapa de avaliação de cenários corresponde à análise de diferentes cenários com o

objetivo de encontrar configurações adequadas em termos de custo/benefício. A simulação pode compreender o estudo do sistema em função de variações na demanda de usuários, nos níveis de carga de trabalho e na infraestrutura do sistema do *call center* de emergência.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os conceitos básicos sobre os sistemas de *call centers* e de *call centers* de emergência. Em seguida destacou as métricas importantes utilizadas para avaliar o *call center* de emergência.

Posteriormente, foi apresentado o *call center* avaliado neste estudo. Finalmente, conceitos sobre avaliação de desempenho e o fluxo de atividades foram apresentados.

Redes de Petri

REDES DE PETRI

Este capítulo apresenta as razões para a escolha de rede de Petri estocástica (*Stochastic Petri Net* - SPN) para o estudo de Call Centers de emergência e os principais conceitos sobre redes de Petri (*Petri Nets* - PNs), assim como características, propriedades e técnicas de análise. Em seguida, são apresentadas as redes de Petri estocásticas (*Stochastic Petri Nets* - SPNs), que são uma extensão à teoria inicial das redes de Petri. Finalmente, são introduzidos o *moment matching* e a técnica de aproximação de fases.

4.1 INTRODUÇÃO

O conceito de redes de Petri foi introduzido por Carl Adam Petri, no ano de 1962, com a apresentação da sua tese de doutorado “*Kommunikation mit Automaten*” (comunicação com autômatos) [Mur89] na faculdade de Matemática e Física da Universidade Darmstadt na Alemanha. Redes de Petri são ferramentas gráficas e matemáticas usadas para descrição formal de sistemas caracterizados pelas propriedades de concorrência, paralelismo, sincronização, distribuição, assincronismo e não-determinismo.

A aplicabilidade das Redes de Petri como ferramenta para estudo de sistemas é importante por permitir representação matemática, análise dos modelos e também por fornecer informações úteis sobre a estrutura e o comportamento dinâmico dos sistemas modelados. As aplicações das Redes de Petri podem se dar em muitas áreas (sistemas de manufatura, desenvolvimento de *software*, sistemas administrativos, entre outros).

As redes de Petri são formadas por lugares (Figura 4.1(a)), transições (Figura 4.1(b)), arcos (Figura 4.1(c)) e marcas (Figura 4.1(d)). Os lugares correspondem às variáveis de estado e às transições, às ações ou eventos realizados pelo sistema. A realização de uma ação está associada a algumas pré-condições, ou seja, existe uma relação entre os lugares e as transições que possibilita ou não a realização de uma determinada ação. Após a realização de uma determinada ação, alguns lugares terão suas informações alteradas, ou seja, a ação criará uma pós-condição. Os arcos representam o fluxo das marcas pela rede de Petri, e as marcas representam o estado em que o sistema se encontra em determi-

nado momento. Graficamente, os lugares são representados por elipses ou círculos; as transições, por retângulos, os arcos, por setas e as marcas, por meio de pontos. A Figura 4.2 mostra um exemplo de rede de Petri.

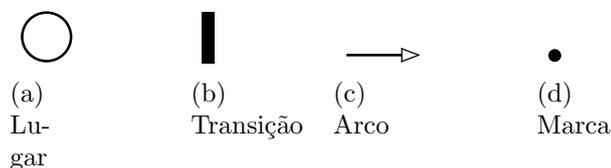


Figura 4.1: Elementos de rede de Petri

Os dois elementos, lugar e transição, são interligados por meio de arcos dirigidos. Os arcos que interligam lugares às transições (Lugar \rightarrow Transição) correspondem à relação entre as condições verdadeiras (pré-condição), que possibilitam a execução das ações. Os arcos que interligam as transições aos lugares (Transição \rightarrow Lugar) representam a relação entre as ações e as condições que se tornam verdadeiras com a execução das ações (pós-condição).

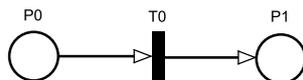


Figura 4.2: Exemplo de rede de Petri

A Figura 4.3 [MLC96] apresenta o ciclo repetitivo dos períodos do dia através de um modelo PN. Um dia pode ser dividido em três períodos distintos: manhã, tarde e noite. As transições entre os períodos do dia devem respeitar algumas condições. O período anterior à tarde é a manhã, o anterior à noite é a tarde e assim por diante. Dessa forma, podem ser estabelecidas as pré-condições e as pós-condições. Para modelar esse sistema através de uma rede de Petri são necessários três lugares, os quais representam os três períodos do dia, e três transições, as quais representam as três mudanças de período do dia. Esse modelo tem o seu estado inicial com uma marca (ponto) no lugar Manhã (Figura 4.3(a)). Com essa marcação, o único evento possível de ocorrer é o evento entardecer, representado pela transição entardecer. Após a execução desse evento, é depositada uma marca no lugar Tarde (Figura 4.3(b)). Com uma marca no lugar Tarde, o próximo evento que ocorrerá é anoitecer, representado pela transição anoitecer. A execução desse evento deposita uma marca no lugar Noite (Figura 4.3(c)). Uma marca no lugar Noite possibilita a ocorrência do evento amanhecer, este representado pela transição amanhecer. A execução desse evento reinicia o processo.

A representação formal de um modelo PN é a quintupla $PN = \{P, T, F, W, \mu_0\}$, onde:

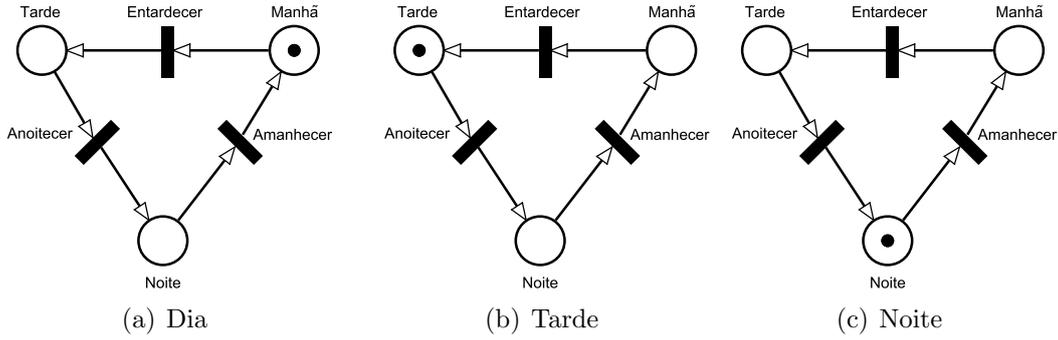


Figura 4.3: Períodos do Dia

- P é o conjunto finito de lugares;
- T é o conjunto finito de transições, $P \cap T = \emptyset$;
- $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é o conjunto de arcos;
- $W : F \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$ é a função de atribuição de peso aos arcos;
- $\mu_0 : P \rightarrow \mathbb{N}$ é a função de marcação inicial, onde $P \cap T = \emptyset$ e $P \cup T \neq \emptyset$.

4.1.1 Propriedades das Redes de Petri

O estudo das propriedades de redes de Petri permite a análise do sistema modelado. Os tipos de propriedades podem ser divididos em duas categorias: as propriedades dependentes de marcação inicial, conhecidas como propriedades comportamentais, e as propriedades não dependentes de marcação, conhecidas como propriedades estruturais [MLC96, Mur89].

4.1.1.1 Propriedades Comportamentais

As propriedades comportamentais são aquelas que dependem apenas da marcação inicial da rede de Petri. As propriedades abordadas são alcançabilidade, limitação, segurança, liveness e cobertura.

Alcançabilidade ou *reachability* indica a possibilidade de uma determinada marcação ser atingida pelo disparo de um número finito de transições a partir de uma marcação inicial. Dada uma rede de Petri marcada $RM = (R; M_0)$, o disparo de uma transição t_0 altera a marcação da rede. Uma marcação M' é acessível a partir de M_0 se existe uma

sequência de transições que, disparadas, levam à marcação M' . Ou seja, se a marcação M_0 habilita a transição t_0 , disparando-se esta transição, atinge-se a marcação M_1 . A marcação M_1 habilita t_1 a qual, sendo disparada, atinge-se a marcação M_2 e assim por diante até a obtenção da marcação M' .

Seja $M_i[t_j > M_k$ e $M_k[t_h > M_1$, então $M_i[t_j t_h > M_1$, por recorrência, o disparo de uma sequência $s \in T^*$ é designado por $M[s > M']$. O conjunto de todas as possíveis marcações obtidas a partir da marcação M_0 na rede $RM = (R; M_0)$ é denotado por $CA(R; M_0) = \{M' \in IN^m | \exists s, M_0[s > M']\}$, onde m é a cardinalidade do conjunto de lugares da rede.

A análise da alcançabilidade de uma marcação consiste em determinarmos uma dada marcação $M' \in CA(R; M_0)$ da rede marcada RM . Em alguns casos, deseja-se observar apenas alguns lugares específicos da rede em estudo. Esse problema é denominado sub-marcação alcançável.

Seja um lugar $p_i \in P$, de uma rede de Petri marcada $RM = (R; M_0)$, esse lugar é k -limitado ($k \in IN$) ou simplesmente limitado se para toda marcação acessível $M \in CA(R; M_0)$, $M(p_i) \leq k$.

O limite k é o número máximo de marcas que um lugar pode acumular. Uma rede de Petri marcada $RM = (R; M_0)$ é k -limitada se o número de marcas de cada lugar de RM não exceder k em qualquer marcação acessível de RM ($\max(M(p)) = k, \forall p \in P$).

Segurança ou *safeness* é uma particularização da propriedade de limitação. O conceito de limitação define que um lugar p_i é k -limitado se o número de marcas que esse lugar pode acumular estiver limitado ao número k . Um lugar que é 1-limitado pode ser simplesmente chamado de seguro.

Seja $p_i \in P$ um lugar de uma rede de Petri marcada $RM = (R; M_0)$, p_i é seguro se para toda marcação $M' \in CA(R; M_0)$, $M(p_i) \leq 1$. Uma rede é segura se todos os lugares pertencentes a essa rede forem seguros, ou seja, todos os lugares dessa rede podem conter no máximo uma única marca.

Vivacidade ou *liveness* está definida em função das possibilidades de disparo das transições. Uma rede é considerada *live* se, independente das marcações que sejam alcançáveis a partir de M_0 , for sempre possível disparar qualquer transição da rede através de uma sequência de transições $L(M_0)$. A ausência de bloqueio (*deadlock*) em sistemas está fortemente ligada ao conceito de vivacidade. Pois, *deadlock* em uma rede de Petri é a impossibilidade do disparo de qualquer transição da rede. O fato de um sistema ser livre

de *deadlock* não significa que seja *live*, entretanto um sistema *live* implica um sistema livre de *deadlocks*.

Uma rede $RM = (R; M_0)$ é viva (*live*) se para toda $M \in CA(R; M_0)$ for possível disparar qualquer transição de RM através do disparo de alguma sequência de transições.

O conceito de cobertura está associado ao conceito de alcançabilidade e *live*. Uma marcação M_i é coberta se existir uma marcação $M_j \neq M_i$, tal que $M_j \geq M_i$.

4.1.1.2 Propriedades Estruturais

As propriedades estruturais são aquelas que dependem apenas da estrutura da rede de Petri. Essas propriedades refletem características independentes de marcação. As propriedades analisadas neste trabalho são limitação estrutural e consistência.

Uma rede de Petri $R = (P, T, F, W, \mu_0)$ é classificada como estruturalmente limitada se for limitada para qualquer marcação inicial.

Ela será considerada consistente se, disparando uma sequência de transições habilitadas a partir de uma marcação M_0 , retornar a M_0 , porém todas as transições da rede são disparadas pelo menos uma vez.

Seja $RM = (R; M_0)$ uma rede marcada e s uma sequência de transições, RM é consistente se $M_0[s > M_0$ e toda transição T_i , disparar pelo menos uma vez em s .

Os métodos de análise das propriedades das redes de Petri são classificados como análise baseada na geração do espaço de estados, análise baseada na equação de estado, métodos baseados na estrutura da rede (análise de invariantes) e técnicas de redução. A validação dos modelos pode ser realizada através de simulação [MLC96, Mur89].

O método de análise baseada na geração do espaço de estados envolve essencialmente a enumeração das marcações alcançáveis (marcações cobertas). Esse método é aplicável a todas as classes de redes, mas é limitado a redes pequenas devido à complexidade do problema de explosão de espaço de estados. Esse método baseia-se na construção de um grafo que representa todas as marcações que a rede de Petri pode alcançar. Cada nó corresponde a uma marcação, e cada arco corresponde ao disparo de um conjunto não vazio de transições. Se a rede de Petri for limitada, é possível construir este tipo de grafo e, nesse caso, ele denomina-se grafo de ocorrências. Caso a rede de Petri não seja limitada, o grafo de ocorrências é infinito. Nesse caso, ainda é possível construir um grafo que se denomina grafo de cobertura [MLC96, Mur89].

O método de análise baseada na equação de estado ou equação fundamental possibilita a verificação da acessibilidade das marcações, assim como o número de vezes que cada transição tem que ser disparada para atingir determinada marcação. Uma rede de Petri pode ser representada por duas matrizes, uma indicando os conjuntos de lugares que servem de entrada para cada uma das transições da rede e outra indicando os conjuntos de lugares que servem de saída para tais transições. A primeira delas é a matriz de entrada, também chamada de matriz de incidência reversa. A matriz de incidência A de uma rede de Petri é uma matriz $n \times m$ de inteiros, definida como $A = [a_{ij}]$ e $a_{ij} = a_{ij}^+ - a_{ij}^-$, onde $a_{ij}^+ = w(i, j)$ é o peso do arco da transição i para seu lugar de saída j e $a_{ij}^- = w(i, j)$ é o peso do arco do lugar de entrada j para a transição i [MLC96, Mur89].

O método baseado na estrutura da rede (análise de invariantes) verifica a existência de componentes repetitivos estacionários nos modelos, onde esses componentes correspondem a comportamentos cíclicos da rede. Os invariantes em uma rede de Petri representam os componentes conservativos e repetitivos da rede. Há conjuntos de lugares e de transições da rede, cujo comportamento não se altera durante o seu funcionamento. A identificação e a interpretação de cada um destes conjuntos são importantes, pois eles refletem certas propriedades da rede que podem ser de interesse para a análise do sistema modelado. Os componentes conservativos da rede são representados em seus invariantes de lugar, ou seja, são conjuntos de lugares da rede nos quais a soma das marcas é constante durante todo o seu funcionamento. Os componentes repetitivos são representados em seus invariantes de transição, isto é, são conjuntos de transições da rede que, ao serem disparadas em determinada sequência, retornam à marcação de partida [MLC96, Mur89].

As técnicas de redução são transformações aplicadas ao modelo de um sistema com o objetivo de simplificá-lo, preservando as propriedades do sistema analisado. Normalmente essas técnicas são utilizadas para facilitar a análise de sistemas complexos. Essas técnicas são baseadas nas transformações de redes originais em um modelo mais abstrato de tal maneira que as propriedades como *liveness*, *boundedness* e *safeness* são preservadas nos modelos obtidos por estas reduções. A transformação reversa (refinamento) pode ser usada para processos de síntese. As regras de transformação das redes podem ser a partir de aplicação das fusões, tanto de lugares, quanto de transições [Mur89]. A Figura 4.4 apresenta algumas das técnicas de redução [MLC96, Mur89].

A simulação é utilizada quando o sistema é relativamente complexo e sua análise através de outros métodos analíticos se mostra inviável.

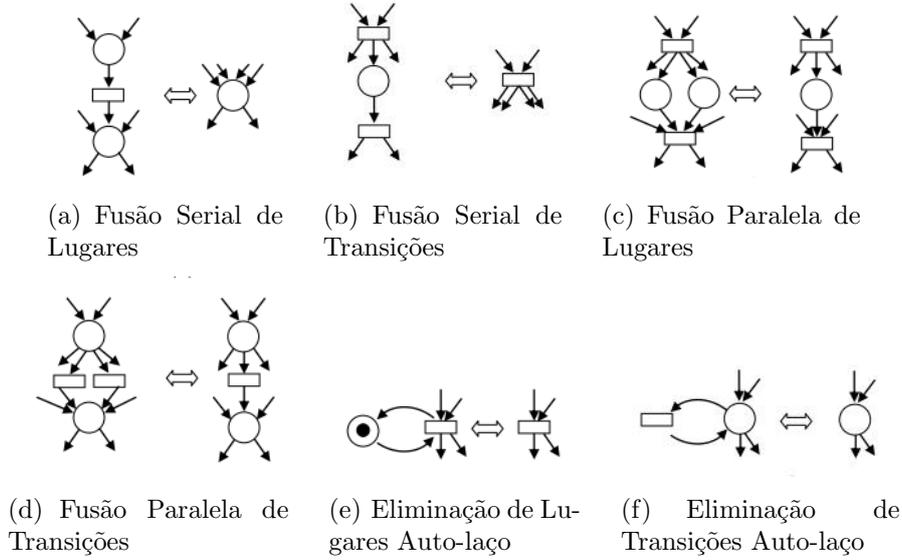


Figura 4.4: Técnicas de Redução

4.2 REDE DE PETRI ESTOCÁSTICA

Rede de Petri estocástica (SPN) [Ger00] é uma das extensões de rede de Petri (PN) [Mur89] utilizada para a modelagem de desempenho e dependabilidade. Uma rede de Petri estocástica adiciona tempo ao formalismo de redes de Petri, com a diferença de que os tempos associados às transições temporizadas são distribuídos exponencialmente, enquanto o tempo associado às transições imediatas é zero. As transições temporizadas modelam atividades através dos tempos associados, de modo que o período de habilitação da transição temporizada corresponde ao período de execução da atividade, e o disparo da transição temporizada corresponde ao término da atividade. Níveis diferentes de prioridade podem ser atribuídos às transições. A prioridade de disparo das transições imediatas é superior à das transições temporizadas. As prioridades podem solucionar situações de confusão [MBC⁺98]. As probabilidades de disparo associadas às transições imediatas podem solucionar situações de conflito [Bal01, MBC⁺98].

Uma SPN é definida pela 9-tupla $SPN = \{P, T, I, O, H, \Pi, G, M_0, Atts\}$, onde:

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ é o conjunto de lugares;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ é o conjunto de transições imediatas e temporizadas, $P \cap T = \emptyset$;
- $I \in (\mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N})^{n \times m}$ é a matriz que representa os arcos de entrada (que podem ser dependentes de marcações);

- $O \in (\mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N})^{n \times m}$ é a matriz que representa os arcos de saída (que podem ser dependentes de marcações);
- $H \in (\mathbb{N}^n \rightarrow \mathbb{N})^{n \times m}$ é a matriz que representa os arcos inibidores (que podem ser dependentes de marcações);
- $\Pi \in \mathbb{N}^m$ é um vetor que associa o nível de prioridade a cada transição;
- $G \in (\mathbb{N}^n \rightarrow \{true, false\})^m$ é o vetor que associa uma condição de guarda relacionada a marcação do lugar à cada transição;
- $M_0 \in \mathbb{N}^n$ é o vetor que associa uma marcação inicial de cada lugar (estado inicial);
- $Atts = (Dist, Markdep, Policy, Concurrency, W)^m$ compreende o conjunto de atributos associados às transições, onde:

- $Dist \in \mathbb{N}^m \rightarrow \mathcal{F}$ é uma possível função de distribuição de probabilidade associada ao tempo de uma transição (esta distribuição pode ser dependente de marcação) (o domínio de \mathcal{F} é $[0, \infty)$);
- $Markdep \in \{constante, enabdep\}$, onde a distribuição de probabilidade associada ao tempo de uma transição pode ser independente (*constante*) ou dependente de marcação (*enabdep*— a distribuição depende da condição de habilitação atual);
- $Policy \in \{prd, prs\}$ define a política de memória adotada pela transição (*prd*— *preemptive repeat different*, valor padrão, de significado idêntico à *race enabling policy*; *prs*— *preemptive resume*, corresponde ao *age memory policy*);
- $Concurrency \in \{ss, is\}$ é o grau de concorrência das transições, onde *ss* representa a semântica *single server* e *is* representa a semântica *infinity server*.
- $W : T \rightarrow IR^+ \cup \{0\}$ é a função peso, que representa o peso (w_t) de transições imediatas e a taxa λ_t de transições temporizadas, onde:
$$\pi(t) = \begin{cases} \geq 1, & \text{se } t \text{ é uma transição imediata;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Se t é uma transição temporizada, então λ_t será o valor do parâmetro da função densidade probabilidade exponencial;

Se t é uma transição imediata, então W_t será um peso, que é usado para o cálculo das probabilidades de disparo das transições imediatas em conflitos.

Os arcos inibidores são usados para prevenir transições de serem habilitadas quando certa condição é verdadeira.

Os modelos SPN possuem dois tipos de estados (marcações), os estados tangíveis (*tangible*) e os estados voláteis (*vanish*). Os estados voláteis são criados em decorrência da marcação dos lugares que são pré-condições de habilitação de uma transição imediata. O termo *vanish* é usado porque as marcações chegam a esses lugares e são instantaneamente consumidas. O tempo de permanência das marcações nesses lugares é zero. Os estados tangíveis são criados em decorrência da marcação dos lugares que são pré-condições de habilitação de uma transição temporizada [MBC⁺98].

As transições temporizadas podem ser caracterizadas por diferentes políticas de memória tais como *Resampling*, *Enabling memory* e *Age memory* [MBC⁺98].

Resampling: A cada disparo de toda e qualquer transição do modelo, todos os temporizadores existentes são reiniciados (*Restart*), e, sendo assim, não há memória. O temporizador de cada transição será reiniciado sempre que a transição tornar-se habilitada;

Enabling memory: A cada disparo de transição, os temporizadores das transições que estavam desabilitadas são reiniciados, enquanto que os temporizadores das transições que estavam habilitadas mantêm o valor atual (*Continue*). Assim que estas transições tornarem-se habilitadas novamente, seus temporizadores continuam do ponto onde foram parados. Uma variável (*enabling memory variable*) mede o tempo que a transição passou habilitada desde o último instante de tempo em que ela se tornou habilitada;

Age memory: Após cada disparo, os temporizadores de todas as transições mantêm seus valores atuais (*Continue*). Uma memória do passado é mantida por uma variável (*age memory variable*) associada a cada transição temporizada. Esta variável contabiliza o tempo gasto na atividade modelada pela transição, medindo o tempo cumulativo de habilitação, desde o instante do seu último disparo.

As transições temporizadas podem ser caracterizadas por diferentes semânticas de disparo conhecidas como *single server*, *multiple server* e *infinite server* [MBC⁺98].

Na semântica *single server*, as marcações são processadas serialmente. Após o primeiro disparo da transição temporizada, o temporizador é reiniciado como se a transição temporizada tivesse sido habilitada novamente. Esse tipo de semântica é utilizada nos modelos de disponibilidade, considerando-se que haja apenas uma única equipe de manutenção, quando vários componentes do sistema entram numa condição de falha.

Na semântica *multiple server*, as marcações são processadas com um grau máximo K de paralelismo. Caso o grau de habilitação seja maior do que K , não será criado nenhum novo temporizador para processar o tempo para o novo disparo até que o grau de habilitação tenha diminuído abaixo de K . Esse tipo de semântica é utilizado nos modelos de disponibilidade considerando-se que haja um número de equipes de manutenção menor do que o número de componentes na condição de falha. Os componentes em excesso ficarão em fila.

Na semântica *infinite server*, o valor de K é infinito, todas as marcações são processadas em paralelo, e as temporizações associadas são decrementadas a zero em paralelo. Esse tipo de semântica é utilizada nos modelos de disponibilidade, considerando-se que haja tantas equipes de manutenção quantos sejam os componentes em falha. Para cada componente existe uma equipe de manutenção exclusiva e independente. Nesse tipo de semântica, todas as marcações são processadas em paralelo.

Nos modelos SPN, as transições são disparadas obedecendo à semântica *interleaving* de ações [MBC⁺98]. Essa semântica define que as transições são disparadas uma a uma, mesmo que o estado compreenda transições imediatas não conflitantes. A análise de um modelo SPN requer a solução de um sistema de equações igual ao número de marcações tangíveis. O gerador infinitesimal Q da cadeia de Markov de tempo contínuo (CTMC) associado ao modelo SPN é derivado de uma redução de um gráfico de alcançabilidade, rotulado com as taxas das transições temporizadas ou pesos das transições imediatas.

Modelos SPN permitem a geração de gráficos de alcançabilidade a partir dos quais cadeias de Markov de tempo contínuo (CTMC) são diretamente derivadas. A Figura 4.5 apresenta uma exemplo de geração de gráfico de alcançabilidade a partir de um modelo SPN. No modelo SPN mostrado na Figura 4.5(a), existe um conflito entre duas transições imediatas ($T1$ e $T2$). A Figura 4.5(b) mostra o gráfico de alcançabilidade com a indicação de que o estado $P1$ é volátil. O disparo da transição temporizada $T0$ torna o lugar $P1$ marcado, habilitando as duas transições imediatas, $T1$ e $T2$, gerando o estado $P1$. Há uma mudança imediata (tempo zero) para o estado $P2$ ou $P3$, através do disparo da transição imediata $T1$ ou $T2$, com probabilidades $\frac{\alpha}{\alpha+\beta}$ e $\frac{\beta}{\alpha+\beta}$, respectivamente. A Figura 4.5(c) mostra o gráfico de alcançabilidade tangível após a eliminação do estado volátil $P1$.

A taxa na qual o sistema se move do estado $P0$ para $P2$ ou $P3$ é obtida pelo produto da taxa λ da transição do estado $P0$ para o estado volátil $P1$, com a probabilidade de ir do estado $P1$ para o estado $P2$ ou $P3$.

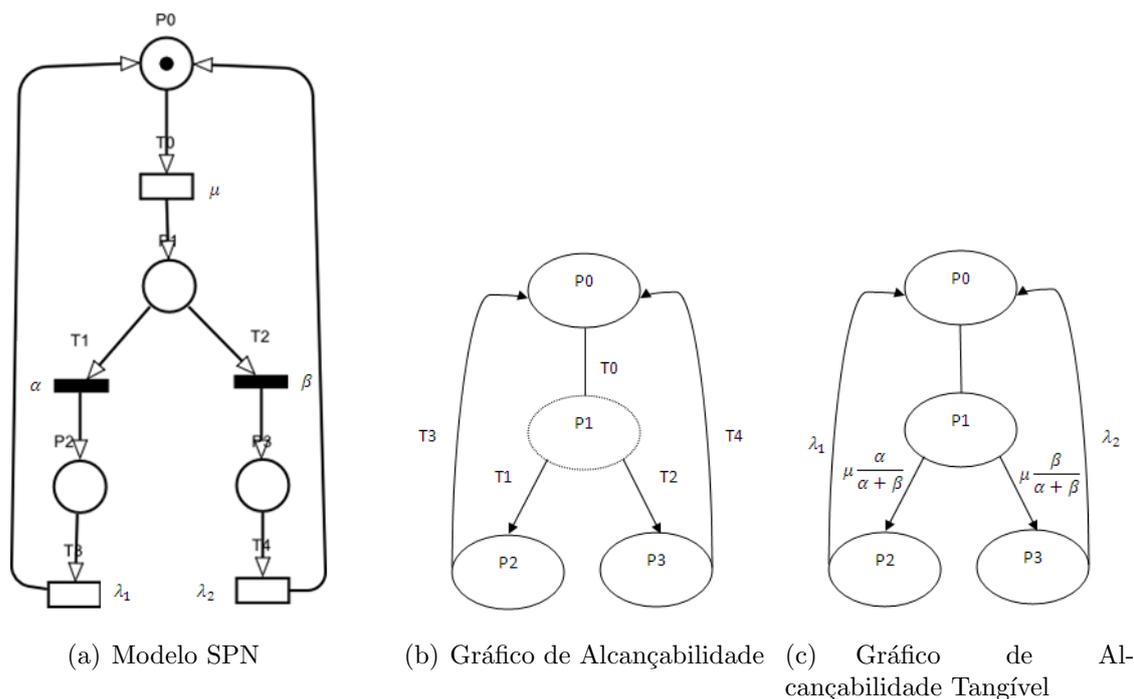


Figura 4.5: Geração de Gráfico de Alcançabilidade

Redes de Petri estocásticas marcadas, com um número finito de lugares e transições, são isomórficas as cadeias de Markov [Mur89]. O isomorfismo de um modelo SPN com uma cadeia de Markov é obtido a partir do gráfico de alcançabilidade reduzido, que é dado através da eliminação dos estados voláteis e rótulo dos arcos com as taxas das transições temporizadas e pesos das transições imediatas. As medições de desempenho e dependabilidade são obtidas através de simulações e análises em estado estacionário e transiente baseadas na cadeia de Markov embutida no modelo SPN [BGdMT06].

Os modelos SPN são usados para análise de desempenho e dependabilidade de sistemas, visto que permitem a descrição das atividades de sistemas através de gráficos de alcançabilidade. Esses gráficos podem ser convertidos em modelos Markovianos, que são utilizados para avaliação quantitativa do sistema analisado.

4.3 MOMENT MATCHING

Modelos SPN consideram somente transições imediatas e transições temporizadas com tempos de disparo distribuídos exponencialmente. Essas transições modelam ações, atividades e eventos.

Uma variedade de atividades podem ser modeladas através do uso dos construtores *throughput subnets* e *s-transitions*. Esses construtores são utilizados para representar distribuições expolinomiais, tais quais as distribuições Erlang, Hipoexponencial e Hiperexponencial [DAJ95].

Combinações de lugares, transições exponenciais e transições imediatas podem ser usadas entre dois lugares para representar diferentes tipos de distribuições. As Figuras 4.6(a), 4.6(b) e 4.6(c) representam três *throughput subnets*.

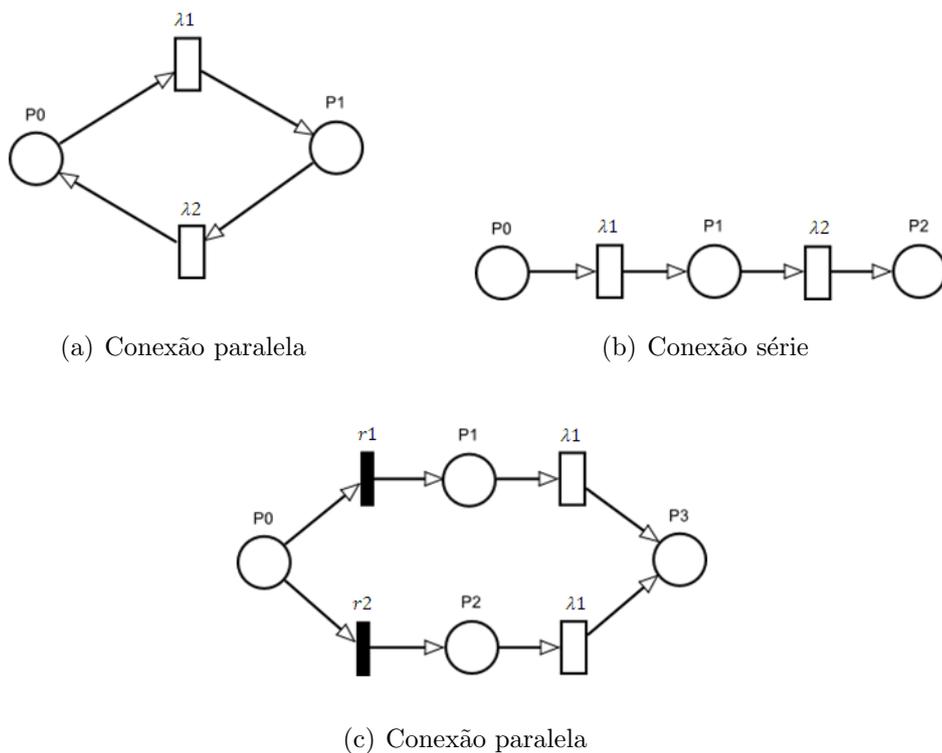


Figura 4.6: *Throughput Subnets*

A Figura 4.6(a) descreve uma *throughput subnet* formada por duas transições exponenciais em paralelo com taxas λ_1 e λ_2 , respectivamente.

Uma marcação no lugar P_0 aparecerá no lugar P_1 após o disparo de uma das transições exponenciais que estão em paralelo as quais têm tempos associados τ_1 e τ_2 , respectivamente, (Equação (4.1)). A função de densidade para esses tempos é dada pela Equação (4.2).

$$\tau = \min(\tau_1 + \tau_2) \quad (4.1)$$

$$f_{\tau}(t) = (\lambda_1 + \lambda_2) \exp^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}, t \geq 0 \quad (4.2)$$

Essas transições exponenciais em paralelo são equivalentes a uma transição exponencial com taxa $\lambda_1 + \lambda_2$.

A Figura 4.6(b) descreve uma *throughput subnet* formada por duas transições exponenciais em série com os parâmetros λ_1 e λ_2 , respectivamente. Uma marcação no lugar $P0$ aparecerá no lugar $P2$ após o disparo das transições exponenciais, as quais têm um tempo associado $\tau = \tau_1 + \tau_2$, cuja função de densidade é dada pela Equação (4.3).

$$f_{\tau}(t) = (f_{\tau_1} * f_{\tau_2})(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\exp^{-\lambda_1 t} - \exp^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1}, t \geq 0 \quad (4.3)$$

* é o operador de convolução. Para o caso onde $\lambda_1, \lambda_2 = \dots = \lambda_n$, a função densidade é dada pela Equação (4.4).

$$f_{\tau}(t) = \frac{\lambda^n t^{n-1} \exp^{-\lambda t}}{(n-1)!}, t > 0 \quad (4.4)$$

Essa expressão representa uma distribuição do tipo Erlang de ordem N . Uma distribuição do tipo Erlang é especificada por dois parâmetros $\lambda > 0$ e $n > 0$.

A Figura 4.6(c) descreve uma *throughput subnet* formada por duas subredes paralelas, cada uma contendo uma transição imediata e uma transição exponencial. Uma marcação no lugar $P0$ aparecerá no lugar $P3$ após o disparo das transições imediatas e exponenciais em cada sub-rede. A probabilidade de cada sub-rede é determinada pelos pesos r_1 e r_2 das transições imediatas. A função de densidade dos tempos associados as transições exponenciais é dada pela Equação (4.5), que é uma distribuição hiperexponencial.

$$f_{\tau}(t) = r_1 f_{\tau}(t) + r_2 f_{\tau}(t) = r_1 \lambda_1 \exp^{-\lambda_1 t} + r_2 \lambda_2 \exp^{-\lambda_2 t}, t > 0 \quad (4.5)$$

Essa *throughput subnet* implementa uma função de densidade com tempo hiperexponencial, cuja distribuição hiperexponencial é descrita pela Equação (4.6).

n , a ordem

$$r_j, j = 1 \dots n,$$

$$\lambda_j, j = 1 \dots n.$$

$$\sum r_j = 1 \quad (4.6)$$

A técnica de aproximação de fases pode ser aplicada para modelar ações, atividades e eventos não-exponenciais através do *moment matching*. O método apresentado calcula o primeiro momento em torno da origem (média) e o segundo momento central (variância) e estima os momentos respectivos da *s-transition* [DAJ95].

Dados de desempenho ou dependabilidade medidos ou obtidos de um sistemas (distribuição empírica) com média μ_D e desvio-padrão σ_D podem ter seu comportamento estocástico aproximados através da técnica de aproximação de fases. O inverso do coeficiente de variação dos dados medidos (Equação (4.7)) permite a seleção da distribuição expolinomial que melhor se adapta à distribuição empírica.

$$\frac{1}{CV} = \frac{\mu_D}{\sigma_D} \quad (4.7)$$

A rede de Petri descrita na Figura 4.7 representa uma atividade com distribuição de probabilidade genérica.

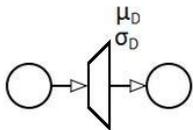


Figura 4.7: Distribuição Empírica

Dependendo do valor de inverso do coeficiente de variação dos dados medidos (Equação (4.7)), a respectiva atividade tem uma dessas distribuições atribuídas: Erlang, Hipoexponencial ou Hiperexponencial.

Quando o inverso do coeficiente de variação é um número inteiro e diferente de um, os dados devem ser caracterizados através da distribuição Erlang, que é representada por uma sequência de transições exponenciais, cujo tamanho é calculado através da Equação (4.8). A taxa de cada transição exponencial é calculada através da Equação (4.9). Os modelos de Redes de Petri descritos na Figura 4.8 representam uma distribuição Erlang.

$$\gamma = \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (4.8)$$

$$\lambda = \frac{\gamma}{\mu} \quad (4.9)$$

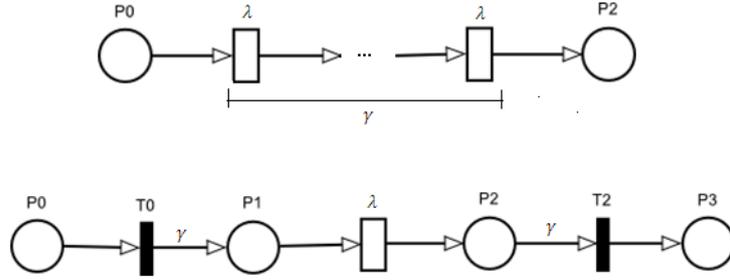


Figura 4.8: Distribuição Erlang

Quando o inverso do coeficiente de variação é um número maior que um (mas não é um número inteiro), os dados são representados através da distribuição hipoexponencial, a qual é representada por uma sequência de transições exponenciais, cujo tamanho é calculado através da Equação (4.10). As taxas das transições exponenciais são calculadas através das Equações (4.11) e (4.12), e os tempos médios atribuídos às transições exponenciais são calculados através das Equações (4.13) e (4.14). Os modelos de Redes de Petri apresentados na Figura 4.9 descrevem uma distribuição hipoexponencial.

$$\left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2 - 1 \leq \gamma < \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (4.10)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{\mu_1} \quad (4.11)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\mu_2} \quad (4.12)$$

$$\mu_1 = \mu \mp \frac{\sqrt{\gamma(\gamma+1)\sigma^2 - \gamma\mu^2}}{\gamma+1} \quad (4.13)$$

$$\mu_2 = \gamma\mu \pm \frac{\sqrt{\gamma(\gamma+1)\sigma^2 - \gamma\mu^2}}{\gamma+1} \quad (4.14)$$

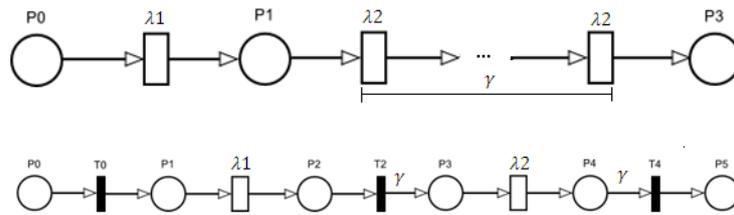


Figura 4.9: Distribuição Hipoexponencial

Quando o inverso do coeficiente de variação é um número menor que um, os dados devem ser caracterizados através de uma distribuição hiperexponencial. A taxa da transição exponencial deve ser calculada através da Equação (4.15), e os pesos das transições imediatas são calculados através das Equações (4.16) e (4.17). O modelo de Redes de Petri que representa essa distribuição hiperexponencial é descrito na Figura 4.10.

$$\lambda_h = \frac{2\mu}{\mu^2\sigma^2} \quad (4.15)$$

$$r_1 = \frac{2\mu^2}{\mu^2\sigma^2} \quad (4.16)$$

$$r_2 = 1 - r_1 \quad (4.17)$$

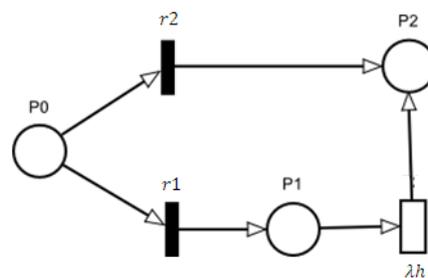


Figura 4.10: Distribuição Hiperexponencial

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma introdução sobre redes de Petri, assim como definições, conceitos básicos e propriedades, as quais podem ser divididas em duas categorias: propriedades comportamentais e propriedades estruturais. Em seguida, foram apresentadas as redes de Petri estocásticas (SPNs), que são de particular interesse deste trabalho. As SPNs possuem transições com tempos exponencialmente distribuídos e transições imediatas. Finalmente, foram apresentados o *moment matching* e a técnica de aproximação de fases, que são técnicas para aproximar o comportamento estocástico de medidas não-exponenciais.

Modelos

CAPÍTULO 5

MODELOS PROPOSTOS

Este capítulo apresenta os modelos de desempenho do *call center* de emergência. Inicialmente, apresentam-se o *call center* de emergência e seus componentes. Posteriormente, os modelos abstrato e refinado de desempenho são propostos e discutidos. Em seguida, apresenta-se a aplicação da metodologia de como foram coletadas e trabalhadas as métricas apresentadas no Capítulo 3.

5.1 MODELO DE DESEMPENHO DO CALL CENTER DE EMERGÊNCIA

Os *call centers* modernos são sistemas complexos, cujo modelo e gestão constituem-se um grande desafio e é uma área de investigação de muito interesse para todos os envolvidos devido à importância que têm os abandonos no desempenho dos *call centers*. Isso pode provocar investimentos desnecessários, e o aumento da carga de chamadas entrantes no centro de emergência, atrasando os atendimentos e aumentando o tempo de espera em fila. Portanto considera-se aconselhado explorar bem o comportamento real do *call center* e trabalhar com um modelo fiel ao real para um correto dimensionamento e sua análise.

Esta seção apresenta o modelo SPN concebido para avaliação de desempenho do *call center* de emergência. O modelo proposto (ver Figura 5.1) compõe-se de sub-modelos (sub-redes que descrevem o comportamento do *call center* de emergência).

As sub-redes tracejadas de vermelho no modelo abstrato da Figura 5.1 permite verificar as áreas marcadas onde: a primeira sub-rede é intitulada por Chamadas Chegando, a qual representa o início do processo de uma chamada de emergência, pois o lugar P0 armazena os *tokens* que representam as chamadas de emergência referentes à Polícia Militar, ao Corpo de Bombeiros, à Polícia Civil e Polícia Científica. Os *tokens* que representam as ligações de emergência passam à transição temporizada T0, esta simula o tempo que o modelo gasta para atender a chamada telefônica, que em poucos segundos o modelo recebe a ligação e a coloca na fila de espera. No lugar P1 é possível verificar se há possibilidade de disparo de *tokens* significando que existe algum agente livre, representado por um ou mais *tokens*, no lugar NQ; se não houver *tokens* que representem

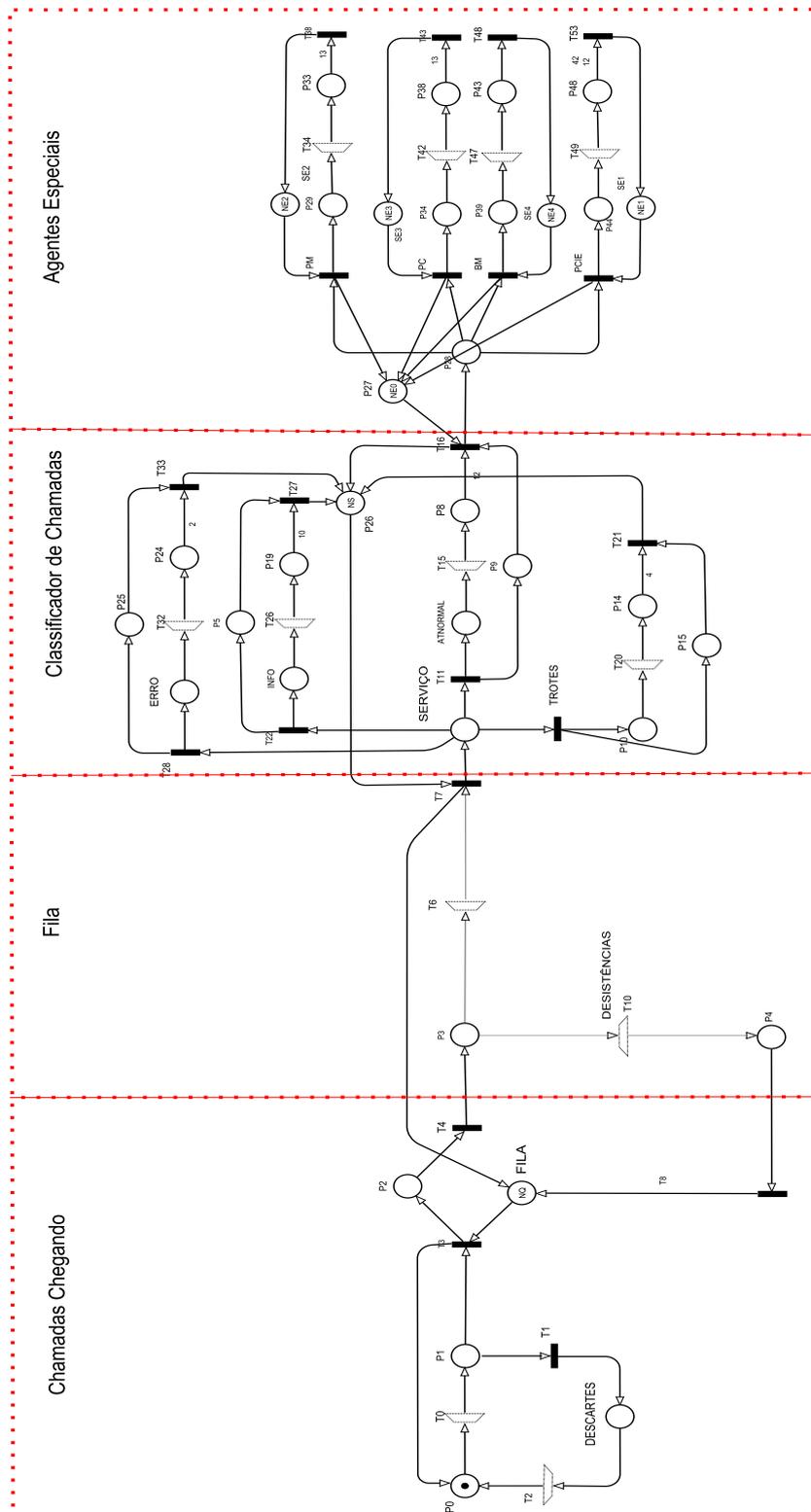


Figura 5.1: Model Abstrato

atendentes disponíveis e a fila de espera estiver completa por *tokens* que representam as chamadas de emergência, o sistema descarta automaticamente a ligação e passa a mesma para a transição imediata T1 no modelo; contabiliza o *token* que representa a chamada telefônica no lugar (DESCARTES) e retorna o *token* da ligação para o início do serviço pela transição temporizada T2, a qual simula o tempo em que o usuário faz a nova ligação, onde foi adotado que 100% das chamadas descartadas voltam a ser originadas pelos solicitantes e apenas menos de 1% das chamadas não retornam a central de emergência. Os solicitantes dos serviços do *call center* procedem desta forma por extrema carência do serviço de emergência e não terem alternativas para resolver a ocorrência de emergência. Porém, se houver lugar disponível na fila de espera, o *token* que representa a ligação passa para o lugar P2, e logo em seguida, para o lugar P3 onde o *token* entra na seção Fila.

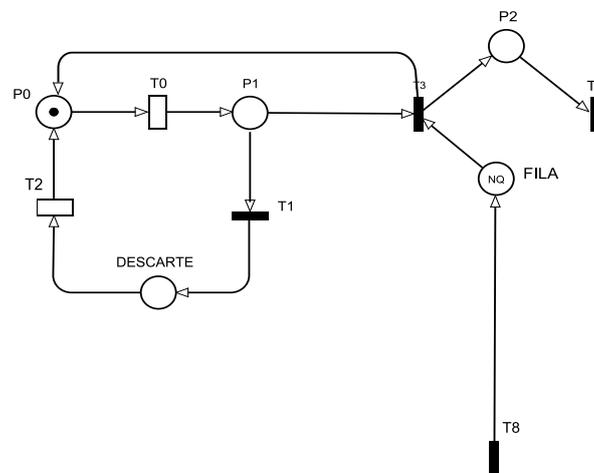


Figura 5.2: Sub-rede Chamadas Chegando

A seção (Fila) da Figura 5.1 e que pode ser observada na sub-rede do modelo já refinado da Figura 5.3 simula o processo de espera numa fila de atendimento FIFO, onde haverá a possibilidade de a chamada ser atendida ou da desistência pelo usuário do serviço, que poderá desligar o telefone e tentar ligar em outra oportunidade. Esse fato acontece constantemente e cria grande problema para a população, pois os usuários acreditam que ao fazerem uma ligação são direcionados para um atendente que casual-

mente encontra-se ocupado e acreditam que, em refazerem a ligação, serão direcionados para outro atendente, caso este esteja livre, sem saber que poderão ser direcionados para o final de uma fila com diversos usuários. Portanto, o que rotineiramente ocorre é as pessoas esperarem um tempo na fila e, por impaciência, desligam o telefone quando estão na iminência de serem atendidos. Fazendo isso, eles ligam novamente, indo para o final da fila, ocasionando o atraso do atendimento, aumento do número de ligações e o excesso de usuários em fila. A Figura 5.3 do modelo refinado mostra que o *token*, que representa uma ligação telefônica, ao entrar na fila pelo lugar P3 pode ocasionar em uma desistência ou continuar aguardando em fila para ser atendida na transição T5 e T9. Nos lugares X e Y, onde se houver desistência da chamada, o *token* passará à transição T10 se estiver no lugar X pelo arco #X e pelo arco #Y se estiver no lugar Y. As transições T6 e T7 mostram a permanência do *token* até caracterizar o atendimento da chamada. Nos lugares A e B se não houver desistência da chamada, o *token* passará à transição T7 se estiver no lugar A pelo arco #A e pelo arco #B se estiver no lugar B. As transições T10 e DESISTÊNCIA mostram a permanência do *token* até caracterizar a desistência da chamada de emergência. O arco do lugar P3 à transição T10 mostra a ocorrência de desistência imediata no momento da entrada na fila da chamada e o arco do lugar P3 à transição T7 indica o atendimento imediato da chamada. Cada usuário na fila aloca um espaço limitado por NQ de tamanho ajustável e, depois de sair da fila, libera este espaço. O lugar NQ também define o tamanho total da fila. Portanto, se o cliente desistir da ligação, o *token* que representa a chamada passa automaticamente para o lugar P4, onde é possível coletar a probabilidade de desistência na fila; e logo após é liberado o espaço na fila ao passar pela transição imediata T3 levando a chamada ao início do serviço, no lugar P0, da Figura 5.1. Porém, se usuário esperar na fila, o *token* que representa a sua ligação telefônica passará pela transição imediata T7 e entrará no lugar (SERVIÇO) e será atendido.

A seção (Classificador de Chamadas) da Figura 5.1 e que pode ser observada na sub-rede da Figura 5.4 serve como selecionador de chamadas e que, no modelo, funciona por probabilidade de acontecimento do evento, a qual foi constatada pelas chamadas telefônicas geradas por mês no *call center* de emergência estudado, havendo quatro possibilidades de atendimento: quando se tratar de informações diversas, o modelo coletará os *tokens* do lugar (INFO). Se for uma ligação errada, o modelo analisará os *tokens* pelo lugar (ERRO); em casos de trotes, os *tokens* serão tratados pelo lugar TROTRES. Havendo atendimento normal, o *token* que representa a chamada de emergência passará pelo lugar (ATNORMAL) e depois liberam os *tokens* relativos aos funcionários no lugar

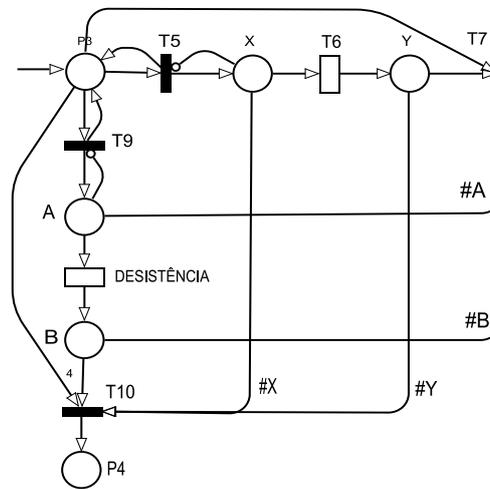


Figura 5.3: Sub-rede de Fila de Espera

NS, que representa o número de servidores livres e que irá habilitar novos atendimentos pela transição T7.

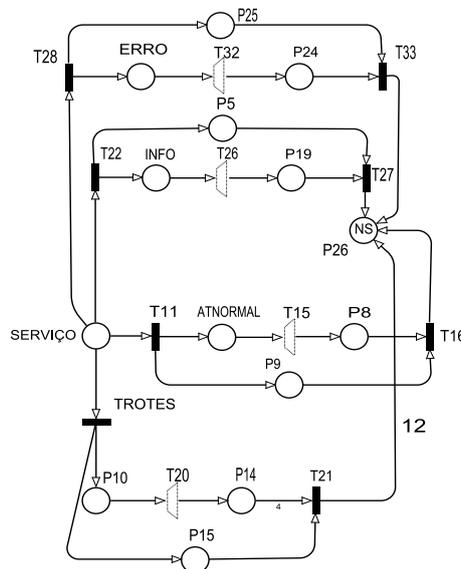


Figura 5.4: Sub-rede Classificador de Chamadas

Finalmente, o *token* que representa a ligação entra na seção (Agentes Especiais) da Figura 5.1 e que pode ser observada na sub-rede da Figura 5.5, onde os atendentes

especializados receberão as chamadas a partir do lugar P28 e serão distribuídas por probabilidade de acontecimento dos eventos para quatro possibilidades de destino: ir para a transição imediata PM em caso de as chamadas serem referentes à Polícia Militar; para a transição imediata PC, se for para a Polícia Civil; para a transição imediata BM, se for para o Corpo de Bombeiros ou para a transição imediata PCIE, se for para a Polícia Científica. Ao fim dos atendimentos, liberam os atendentes para o lugar P27, que indica a quantidade de atendentes especializados, e é a soma dos funcionários representados nos lugares NE1, NE2, NE3 e NE4 que mostra a quantidade de atendentes da Polícia Científica, do Corpo de Bombeiros, da Polícia Civil e da Polícia Militar, respectivamente.

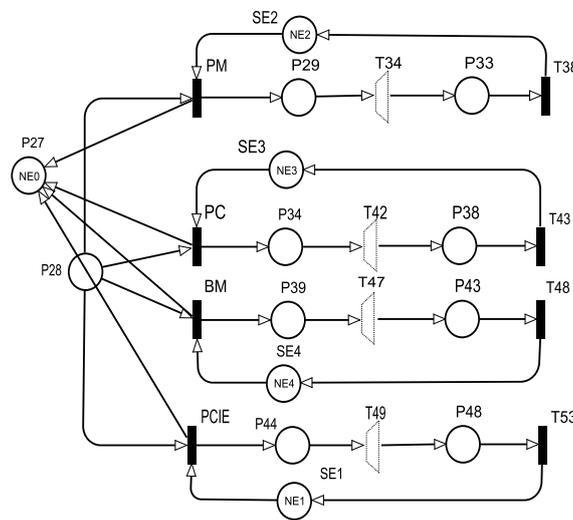


Figura 5.5: Sub-rede Atendentes Especiais

É importante salientar, que em cada atendimento, é utilizado um *token* que representa um atendente do lugar NS da seção (Classificador de Chamadas) da Figura 5.1 e que pode ser observada na sub-rede da Figura 5.4, o qual indica o número de servidores disponíveis, estes só são liberados após o atendimento dos clientes, portanto é possível medir o nível de utilização desses funcionários através do modelo e buscar o nível ideal para cada caso em particular. Ainda é possível coletar o nível de serviço dos agentes especiais para dar maior qualidade ao atendimento no *call center*. Além disso, os serviços podem ser retirados ou inseridos, dependendo do *call center* a ser empregado.

5.2 REFINAMENTO DO MODELO DE DESEMPENHO DO CALL CENTER DE EMERGÊNCIA

O modelo proposto aqui pode dar suporte para que se possam identificar possíveis falhas no dimensionamento do *call center* e que se possa aumentar o número de chamadas atendidas em menor tempo, diminuindo o número de chamadas em fila. Pode ter o número ideal de agentes no *call center* e ainda analisar o nível de serviço, corrigir possíveis problemas encontrados e tomar decisões com base em dados e informações confiáveis.

Vale lembrar que os agentes especiais não são usados em todos os *call centers* de emergência no mundo e seu uso é em razão de utilizar os profissionais da área de maneira otimizada, recebendo ligações classificadas anteriormente por agentes normais.

O modelo proposto foi validado pela comparação entre dados reais coletados de um *call center* de serviços de emergência do estado de Pernambuco e as informações respectivas obtidas através do modelo.

Esta seção apresenta um estudo de caso realizado para validar o modelo proposto. Os dados para este estudo foram coletados através de chamadas telefônicas do sistema de emergência do Centro Integrado de Operações de Defesa Social, que armazena e monitora os dados de chamadas telefônicas dos serviços de defesa social como a Polícia e Corpo de Bombeiros no Estado, usando, para isso o *software* empresarial *EasyCall* [EAS10] e um sistema *Web* [SWA08] desenvolvido pela própria Secretaria de Defesa Social. Este coleta os dados lançados pelos atendentes no momento da chegada da chamada até sua finalização. Este ambiente, no momento do estudo, possuía 15 atendentes civis que recebiam as chamadas de emergência, faziam a triagem, identificavam e passavam as ligações telefônicas por área e tipo de emergência para os atendentes especializados. Esses atendentes especializados eram compostos por dez Policiais Militares, dois Bombeiros Militares, dois Policiais Civis e dois atendentes da Polícia Científica. Estes profissionais responsabilizavam-se pelo acionamento das viaturas de emergência e ainda forneciam o auxílio ao solicitante do serviço por telefone até a chegada dos profissionais de emergência no local da ocorrência.

A fim de validar o modelo proposto para o centro de chamadas de emergência, foram realizados experimentos com os dados coletados de todos os meses dos anos de 2008 e 2009, e colocados no modelo em que seu comportamento foi analisado e comparado com o comportamento real. Os valores de saídas das métricas utilizadas foram estudados e foi analisado o impacto sobre os outros indicadores. Assim refletiram a realidade do *call*

center. Portanto, por se tratar de uma grande massa de dados e já visto que os dados estavam coerentes com os da simulação, escolheu-se o mês de julho de 2009, um dos meses de maior incidência de chamadas de emergência, para validação do modelo. A seleção do período alvo do estudo foi feita levando em consideração os critérios de maior intensidade de ligações para que houvesse uma ampla gama de dados para serem analisados como amostra comparativa e maior variabilidade de tempo das chamadas de emergência. A simulação transiente foi usada em TimeNet 4 [TNS08] com um nível de confiança de (95%) e erro relativo máximo de (10%), todos os dados foram analisados um por um e validados observando os impactos em todas as áreas do *call center*.

O dados coletados foram tratados estatisticamente com o estudo dos *outliers* através da ferramenta Minitab 15 [Cam03], onde foi possível verificar que nos meses de fevereiro, junho e dezembro ocorreu um aumento das ligações de emergência em dias específicos como: em dias do feriado de Carnaval, São João, Natal e Ano Novo respectivamente. Com a detecção desses *outliers* é possível entender o comportamento real dos usuários do *call center* e propor o aumento dos funcionários nos feriados onde os *outliers* foram encontrados. Os *outliers* são valores extremos ou atípicos em relação aos demais valores do conjunto amostral. Os gráficos *boxplots* da ferramenta Minitab 15 indicaram a presença de *outliers* das medidas de desempenho. A representação gráfica, através do *boxplot*, fornece, entre outras informações, a variabilidade e a simetria dos dados [MR03].

Os dados medidos (distribuição empírica) foram analisados para decidir qual a distribuição expolinomial melhor se adapta às chamadas para a Polícia Militar, Polícia Civil, Corpo de Bombeiros, Polícia Científica, ligações erradas, pedido de informações, chamadas normais, trotes e desistências das chamadas (representadas através das transições estocásticas genéricas T_{ipm} , T_{ipc} , T_{ibm} , T_{ipcie} , T_{ierro} , T_{iinfo} , T_{inorm} , T_{itrote} e $T_{idesist}$, respectivamente). A distribuição expolinomial mais adequada aos dados medidos foi escolhida com base nos cálculos dos valores das médias (μ_D) e desvios padrões (σ_D) das transições estocásticas genéricas citadas conforme o processo descrito no Capítulo 3 [DAJ95]. Essas transições foram refinadas de acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.1.

Após a definição da distribuição expolinomial adequada para representar os dados medidos, os parâmetros dessa distribuição foram calculados. Com a escolha da distribuição hipoexponencial para refinar as transições estocásticas genéricas T_{ipm} , T_{ipc} , T_{ibm} , T_{ipcie} , T_{ierro} , T_{iinfo} , T_{inorm} , T_{itrote} e a distribuição Erlang para $T_{idesist}$, os parâmetros μ_1 , μ_2 e γ devem ser calculados. Esses parâmetros foram calculados utilizando

Tabela 5.1: Média e Desvio Padrão

Serviços	μ_D (s)	σ_D (s)	Distribuição Exponencial
Polícia Militar	1,1702676	0,3206225	Hipoexponencial
Polícia Civil	1,3564931	0,3703619	Hipoexponencial
Bombeiros	8,9022986	1,3709416	Hipoexponencial
Polícia Científica	21,355768	6,0114324	Hipoexponencial
Enganos ou Erros	3,670896	2,17606	Hipoexponencial
Informações	0,805475	0,244864	Hipoexponencial
Chamadas Normais	0,602361	0,165218	Hipoexponencial
Trotes	0,513503	0,106738	Hipoexponencial
Desistências	3,2	1,6	Erlang

as Equações (4.10), (4.13) e (4.14). A Tabela 5.2 mostra os valores dos parâmetros μ_1 , μ_2 e γ para as distribuições hipoexponenciais que refinaram as transições estocásticas genéricas T_{ipm} , T_{ipc} , T_{ibm} , T_{ipcie} , T_{ierro} , T_{iinfo} , T_{inorm} , T_{itrote} e a distribuição Erlang para $T_{idesist}$.

Tabela 5.2: Parâmetros de Distribuições Hipoexponenciais

Transição Estocástica	μ_1 (s)	μ_2 (s)	γ
T_{ipm}	0,081153042	0,075061568	13
T_{ipc}	0,080549349	0,074544813	13
T_{ibm}	0,024291662	0,023715572	42
T_{ipcie}	0,086055262	0,079236541	12
T_{ierro}	0,541774248	0,351396612	2
T_{iinfo}	0,101826021	0,092415698	10
T_{inorm}	0,081351976	0,075231727	12
T_{itrote}	0,045157935	0,043206805	2
$T_{idesist}$	0,333333333	0,25	4

Assim, uma versão refinada do modelo de desempenho do *call center* de emergência é gerada (ver Figura 5.6). O modelo de desempenho do *call center* de emergência refinado é obtido para o estudo de caso proposto.

O número de chamadas telefônicas obtidas pelo modelo proposto é gerado usando as expressões da Tabela 5.3 e de acordo com o modelo refinado da Figura 5.6. Nele, $NumPM$ mostra o número total de chamadas telefônicas para a Polícia Militar e calcula-se a prob-

5.2 REFINAMENTO DO MODELO DE DESEMPENHO DO CALL CENTER DE EMERGÊNCIA63

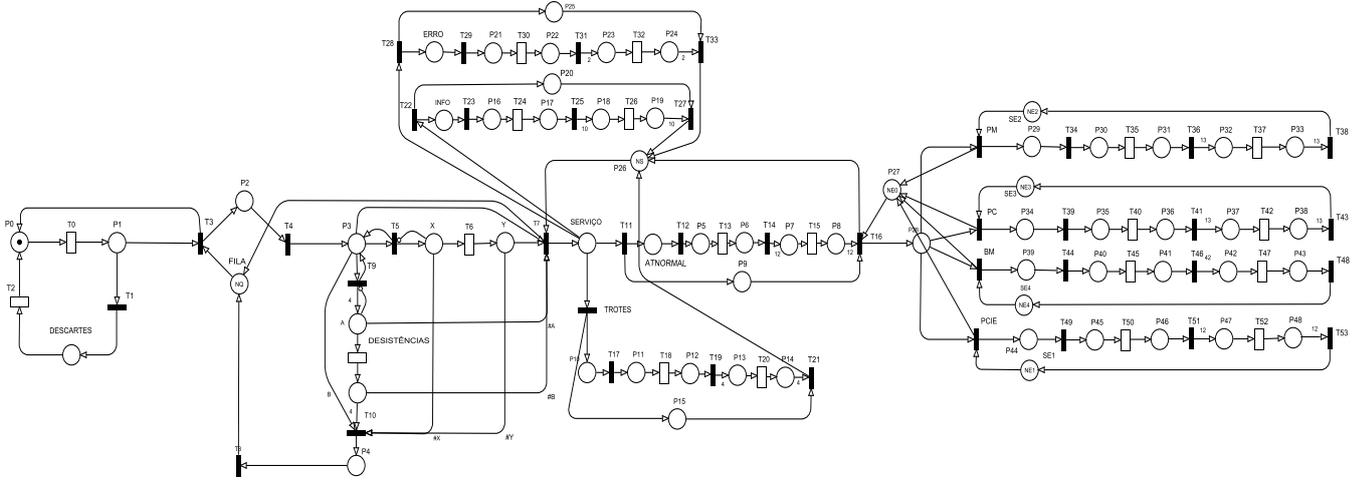


Figura 5.6: Modelo Refinado

abilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P32 por $P\{\#P32 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T37)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos; $NumPC$ mostra o número de telefonemas para a Polícia Civil e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P37 por $P\{\#P37 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T42)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos; $NumBM$ mostra o número total de chamadas telefônicas para os Bombeiros e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P42 por $P\{\#P42 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T47)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos, e $NumPCIE$ mostra o número de telefonemas para Polícia Científica e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P47 por $P\{\#P47 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T52)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos.

Tabela 5.3: Número das Chamadas de Emergência por Corporação

Corporação	Métricas (s)
$NumPM$	$P\{\#P32 > 0\} \cdot (1/T37) \cdot 1440$; onde, $W(T37) = 1, 14$ e $(1/T37) = throughput$
$NumPC$	$P\{\#P37 > 0\} \cdot (1/T42) \cdot 1440$; onde, $W(T42) = 1, 33$ e $(1/T42) = throughput$
$NumBM$	$P\{\#P42 > 0\} \cdot (1/T47) \cdot 1440$; onde, $W(T47) = 8, 84$ e $(1/T47) = throughput$
$NumPCIE$	$P\{\#P47 > 0\} \cdot (1/T52) \cdot 1440$; onde, $W(T52) = 20, 86$ e $(1/T52) = throughput$

A Tabela 5.4 mostra como foi medido o número de:

1- Atendimento normal por ($NumAtNORMAL$) e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P7 por $P\{\#P7 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T15)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos;

2- Trotes por ($NumTROTE$) e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P13 por $P\{\#P13 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T20)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos;

3- Informações por ($NumINFO$) e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P23 por $P\{\#P23 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T32)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos;

4- Chamadas telefônicas erradas por ($NumERRO$) e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar P18 por $P\{\#P18 > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T26)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos;

5- Abandono das chamadas por ($NDESIST$) e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar B por $P\{\#B > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/DESIST)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos;

6- Chamadas rejeitadas por ($NDESCARTE$) e calcula-se a probabilidade de haver um ou mais *tokens* no lugar DESCARTE por $P\{\#DESCARTE > 0\}$, multiplicado pelo $throughput=(1/T2)$ e ainda multiplicado pelo tempo de ocorrência em um dia com 24 horas que é igual à 1440 minutos;

7- E ainda de pessoas esperando na fila por ($TFILA$) e o valor médio de ocupação da fila subtraindo do tamanho da fila, representado pelo lugar NQ (igual a 30 no estudo), o valor da esperança de haver algum *tokens* no lugar FILA por $E\#FILA$, para obter o valor representativo de ocupação da fila;

8- O número de agentes livres (NAL) é a esperança de *tokens* no lugar P26 representado por $E\#P26$,

9- E o número de atendentes especializados livres ($NAEL$) é a esperança de *tokens* no lugar P27 representado por $E\#P27$.

A Tabela 5.5 mostra o número de servidores sendo utilizados para atender:

1- As chamadas telefônicas válidas por $UTNORMAL$ onde *tokens* em NP representam

Tabela 5.4: Métricas de Desempenho

Serviços	Métricas (s)
<i>NumAtNORMAL</i>	$P\{\#P7 > 0\} \cdot (1/T15) \cdot 1440$; onde, $W(T15) = 0,59$ e $(1/T15) = \text{throughput}$
<i>NumTROTE</i>	$P\{\#P13 > 0\} \cdot (1/T20) \cdot 1440$; onde, $W(T20) = 0,46$ e $(1/T20) = \text{throughput}$
<i>NumINFO</i>	$P\{\#P23 > 0\} \cdot (1/T32) \cdot 1440$; onde, $W(T32) = 0,78$ e $(1/T32) = \text{throughput}$
<i>NumERRO</i>	$P\{\#P18 > 0\} \cdot (1/T26) \cdot 1440$; onde, $W(T26) = 3,28$ e $(1/T26) = \text{throughput}$
<i>NDESIST</i>	$P\{\#B > 0\} \cdot (1/DESIST)$; onde, $DESIST$ e $(1/DESIST) = \text{throughput}$
<i>NDESCARTE</i>	$P\{\#DESCARTE > 0\} \cdot (1/T2)$; onde, $W(T2)$ e $(1/T2) = \text{throughput}$
<i>TFILA</i>	$NQ - E\{\#FILA\}$
<i>NAL</i>	$E\{\#P26\}$
<i>NAEL</i>	$E\{\#P27\}$

o número de atendentes e $E\{\#P9\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar P9;

2- Os trotes por *UTTROTE* onde *tokens* em NP representam o número de atendentes e $E\{\#P15\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar P15;

3- Chamadas telefônicas solicitando informações por *UTINFO* onde *tokens* em NP representam o número de atendentes e $E\{\#P20\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar P20;

4- E as chamadas erradas *UTERRO* onde *tokens* em NP representam o número de atendentes e $E\{\#P25\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar P25. NP representa o número de atendentes que no estudo foi 15 na Tabela 5.5 com as métricas indica o número total de servidores do modelo, este valor pode ser alterado de acordo com a necessidade do serviço e foi o número de servidores do estudo de caso neste trabalho.

Tabela 5.5: Utilização dos Agentes Não Especializados

Número de Atendentes Utilizados	Métricas (s)
<i>UTNORMAL</i>	$NP - E\{\#P9\}$
<i>UTTROTE</i>	$NP - E\{\#P15\}$
<i>UTINFO</i>	$NP - E\{\#P20\}$
<i>UTERRO</i>	$NP - E\{\#P25\}$

A Tabela 5.6 indica o número de servidores que estão sendo utilizados para receber chamadas:

1- Da Polícia Militar por UPM onde *tokens* em NPM representam o número de atendentes da Polícia Militar e $E\{\#SE2\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar SE2;

2- Da Polícia Civil por UPC onde *tokens* em NPC representam o número de atendentes da Polícia Civil e $E\{\#SE3\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar SE3;

3- Dos Bombeiros por UBM onde *tokens* em NBM representam o número de atendentes do Corpo de Bombeiros e $E\{\#SE4\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar SE4;

4- E da Polícia Científica pela UPCIE onde *tokens* em NPCIE representam o número de atendentes da Polícia Científica e $E\{\#SE1\}$ a esperança de haver *tokens* no lugar SE1. No estudo de caso usa-se número 10, 2, 2 e 1 nas métricas da Tabela 5.6 indicando o número total de servidores especializados do modelo pela Polícia Militar, Polícia Civil, Corpo de Bombeiros e Polícia Científica, respectivamente; este valor pode ser alterado conforme a necessidade do serviço.

Tabela 5.6: Utilização de Agentes Especializados

Número de Atendentes Utilizados	Métricas (s)
<i>UPM</i>	$NPM - E\{\#SE2\}$
<i>UPC</i>	$NPC - E\{\#SE3\}$
<i>UBM</i>	$NBM - E\{\#SE4\}$
<i>UPCIE</i>	$NPCIE - E\{\#SE1\}$

As Figuras 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 mostram uma comparação visual entre os resultados obtidos por simulação transiente e valores reais medidos, considerando um conjunto de dos primeiros quinze dias de Julho de 2009, em razão de ser o mês de maior número de chamadas telefônicas nos anos estudados e em razão de maior intensidade de ligações para que houvesse uma ampla gama de dados para serem analisados como amostra comparativa e maior variabilidade de tempo das chamadas de emergência.

A Figura 5.7 mostra uma comparação entre o número real de chamadas telefônicas para a Polícia Militar (PM) e o número de chamadas telefônicas que foram simulados (PM SIM) através do modelo. O resultado apresenta erro máximo relativo de 4,21% nos finais de semana e 10,11% em dias úteis.

A Figura 5.8 mostra uma comparação entre o número real de chamadas telefônicas para a Polícia Civil (PC) e o número de chamadas telefônicas que foram simuladas (PC SIM) através do modelo. O resultado apresenta erro máximo relativo de 3,81% nos finais

5.2 REFINAMENTO DO MODELO DE DESEMPENHO DO CALL CENTER DE EMERGÊNCIA67

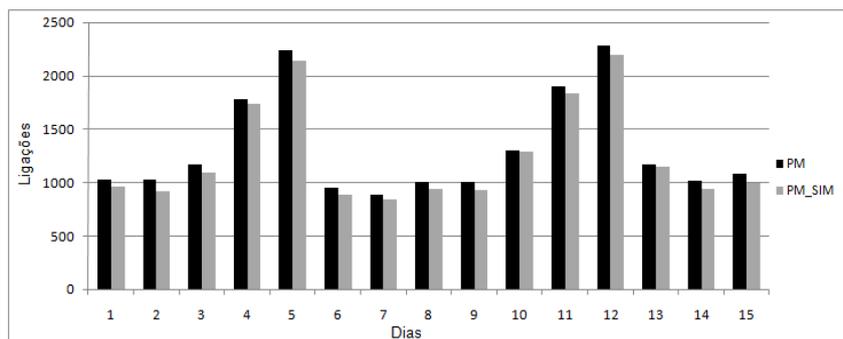


Figura 5.7: Simulação da Polícia Militar

de semana e 10,47% em dias úteis.

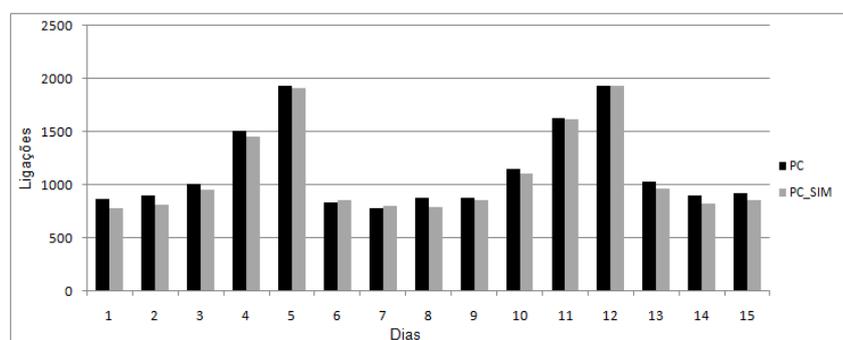


Figura 5.8: Simulação da Polícia Civil

A Figura 5.9 mostra uma comparação entre o número real de chamadas telefônicas para o Corpo de Bombeiros Militar (BM) e o número de chamadas telefônicas que foram simuladas (BM SIM) através do modelo proposto. O resultado apresenta erro máximo relativo de 10,25% nos finais de semana e 10,02% em dias úteis.

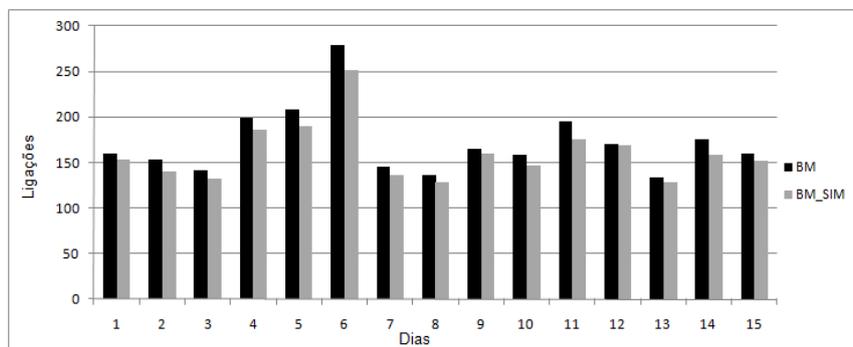


Figura 5.9: Simulação dos Bombeiros

A Figura 5.10 mostra uma comparação entre o número real de chamadas telefônicas

para a Polícia Científica (PCIE) e o número de chamadas telefônicas simuladas (PCIE SIM) através do modelo proposto. O resultado apresenta erro máximo relativo de 10,23% nos finais de semana e 11,55% em dias úteis.

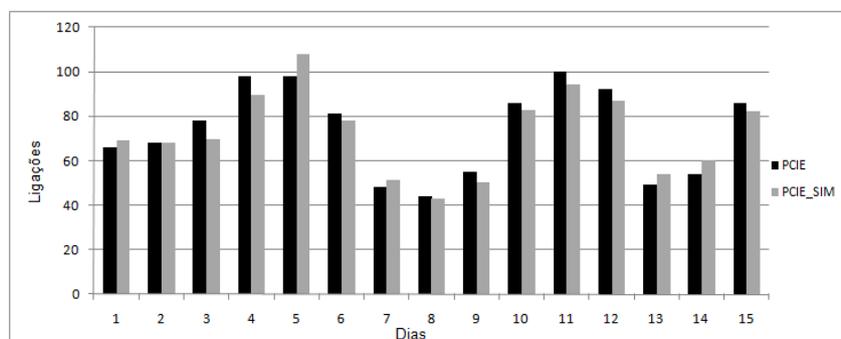


Figura 5.10: Simulação da Polícia Científica

A Figura 5.11 mostra uma comparação entre o número real de telefonemas válidos (Validas) e o volume de chamadas telefônicas válidas simuladas (Validas SIM) através do modelo. O resultado apresenta erro máximo relativo de 4,52% nos finais de semana e 5,15% em dias úteis.

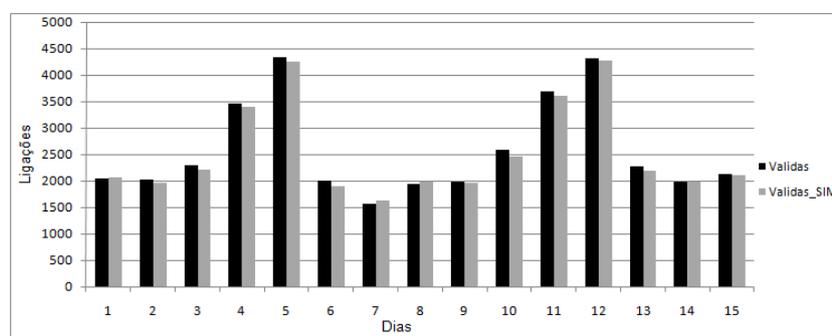


Figura 5.11: Simulação de Chamadas Válidas

A Figura 5.12 mostra uma comparação entre o número real de trotes telefônicos (Trote) e o número de trotes simulados (Trote SIM) pelo modelo proposto. O resultado apresenta erro máximo relativo de 2,74% nos finais de semana e 3,05% em dias úteis.

A Figura 5.13 mostra uma comparação entre o número real de solicitações de informações (Info) e o volume de chamadas de solicitações de informações simuladas (Info SIM) através do modelo. O resultado apresenta erro máximo relativo de 7,31% nos finais de semana e 5,92% em dias úteis.

A Figura 5.14 mostra uma comparação entre o número real de ligações erradas ou por

5.2 REFINAMENTO DO MODELO DE DESEMPENHO DO CALL CENTER DE EMERGÊNCIA69

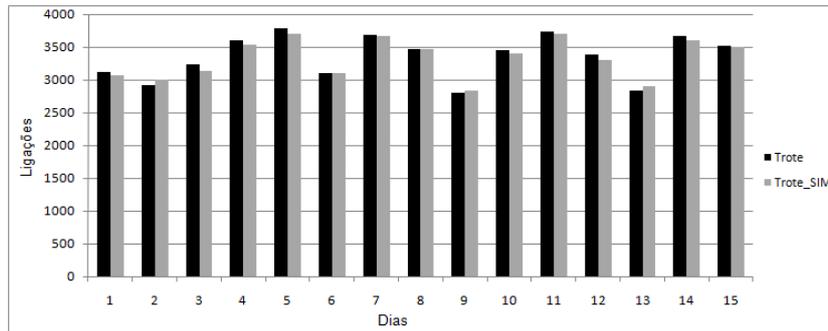


Figura 5.12: Simulação de Trotes

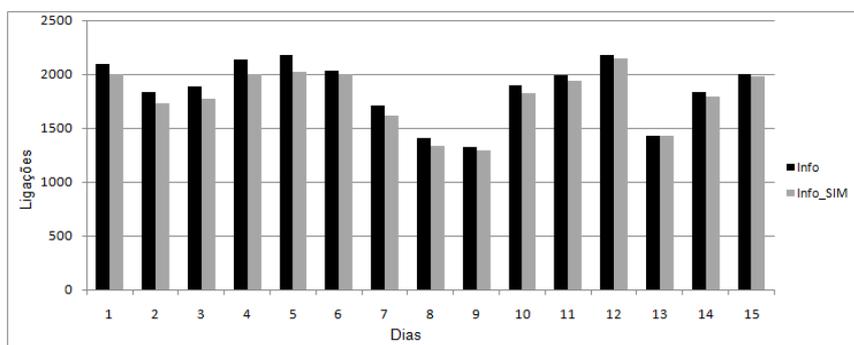


Figura 5.13: Simulação de Pedidos de Informações

engano (Erro) e o volume de chamadas de ligações erradas simuladas (Erro SIM) através do modelo proposto. O resultado apresenta erro máximo relativo de 11,34% nos finais de semana e 10,90% em dias úteis.

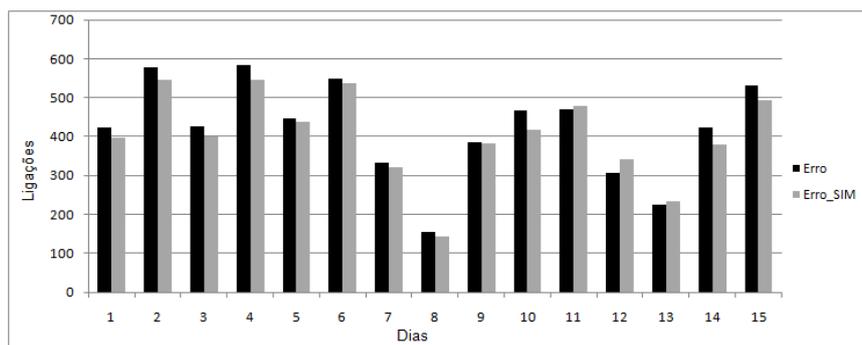


Figura 5.14: Simulação de Chamadas Telefônicas Erradas

Os resultados obtidos com o modelo e as respectivas medições do sistema foram comparados por meio do Teste T-emparelhado [Lil00]. Pôde-se constatar que para o teste entre os dados reais das chamadas da Polícia Militar e dos dados simulados pelo modelo proposto, o valor de prova ou valor-p foi 0,001. E para o teste entre os dados reais das

chamadas da Polícia Civil e dos dados simulados pelo modelo proposto, o valor de prova ou valor-p foi 0,003, indicando mais de 95% de grau de confiança, que os resultados não evidenciam qualquer discrepância entre os dados medidos e os valores obtidos do modelo.

O processo de validação é realizado por meio da comparação dos resultados das métricas de desempenho obtidas através do modelo de desempenho do *call center* de emergência proposto e dos resultados do processo de medição do *call center* de emergência real. Após a validação do modelo de desempenho do *call center* proposto, ele poderá ser usado como uma ferramenta para estimar índices de desempenho de um sistema de *call centers* de emergência considerando várias condições e configurações [MA05].

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a aplicação da metodologia descrita no Capítulo 4 para modelagem e refinamento dos modelos de desempenho do *call center* de emergência estudado. A partir da especificação do *call center* de emergência e seus componentes, são obtidos os modelos abstratos. Esses modelos foram obtidos por meio do método para avaliação de desempenho do *call center* de emergência. Posteriormente, definiu-se um ambiente de medição do *call center* de emergência a ser avaliado, para que o modelo de desempenho do *call center* de emergência seja refinado e modelos mais precisos sejam gerados. O modelo foi validado observando dados reais e simulados, os quais comprovaram que o modelo possuía grau de confiança para ser aplicado no estudo de *call centers* de emergência e ainda refletia o funcionamento real destes centros com êxito.

Estudo de Caso

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta um cenário para avaliação do impacto das variações da carga de trabalho no desempenho de um *call center* de emergência. É realizado um estudo do comportamento das ligações de emergência para dar suporte a tomada de decisões, no *call center*, para aumentar a sua capacidade e desempenho. Avalia-se o impacto do tamanho do número das ligações telefônicas de emergência no número de descartes e na probabilidade de desistências das chamadas de emergência. Apresenta um estudo do número de funcionários necessários para atender os solicitantes de serviços de emergência de maneira eficiente.

Depois de analisar as ligações do *call center* e com base nos dados de janeiro de 2008 a dezembro de 2009, foi constatado que as chamadas de emergência apresentavam um padrão comparativo entre os tipos de chamadas analisadas estatisticamente nos meses observados no período selecionado para estudo neste trabalho. A seleção do período alvo do estudo foi feita levando em consideração os critérios de maior intensidade de ligações para que houvesse uma ampla gama de dados para serem analisados como amostra comparativa. Atendendo aos critérios pré-estabelecidos para a seleção, o mês de julho de 2009 apresentou-se como sendo o mais indicado para esta análise inicial comparativa das ocorrências de trotes, ligações válidas, ligações erradas e informações. Em seguida são estudados todos os meses dos anos de 2008 e 2009, observando a probabilidade de desistência, o número de descartes e o número de atendentes do *call center*.

Foi realizado o estudo do *call center* de emergência do Centro Integrado de Operações de Defesa Social do Estado de Pernambuco (CIODS), que conta com 15 atendentes civis trabalhando em 4 turnos de 6 horas por dia, totalizando 60 funcionários por dia atendendo à todas as ligações de emergência da Região Metropolitana do Recife (RMR). E com 15 funcionários especializados (Bombeiros e Policiais) distribuídos por órgãos de Defesa Social e atendendo chamadas correspondentes às suas áreas de atuação da seguinte maneira: 10 atendentes da Polícia Militar, 2 dos Bombeiros, 2 da Polícia Civil e 1 atendente da Polícia Científica.

Coletou-se todos os dados das ligações de 2008 a 2009 através do sistema *EasyCall*,

da Digtro do Brasil, implantado no *call center*, bem como de um sistema *Web* que armazena os dados das ocorrências no centro de emergência. Esses dados continham informações sobre trotes, ligações erradas (por engano), pedidos de informação e ligações válidas classificadas por órgãos como: Polícia Militar, Corpo de Bombeiros, Polícia Civil e Polícia Científica.

6.1 AVALIAÇÃO DOS TROTES E LIGAÇÕES VÁLIDAS NOS DIAS ÚTEIS

A razão de estudar a relação entre os trotes e as ligações válidas no *call center* de emergência está em entender a demanda de chamadas nos dias da semana e comparar com a dos dias úteis para diagnosticar os problemas e propor meios de suprir as necessidades do *call center* de emergência.

Em uma análise dos dados, nos anos de 2008 e 2009, em todos os meses dos anosve em particular no mês de julho de 2009, quando houve maior número de chamadas por dia no *call center* de emergência, verificou-se que, em todos os dias úteis, o número de trotes superava o número de ligações válidas. As ligações erradas e informações não apresentaram variações significativas em relação as demais (ver Figura 6.1).

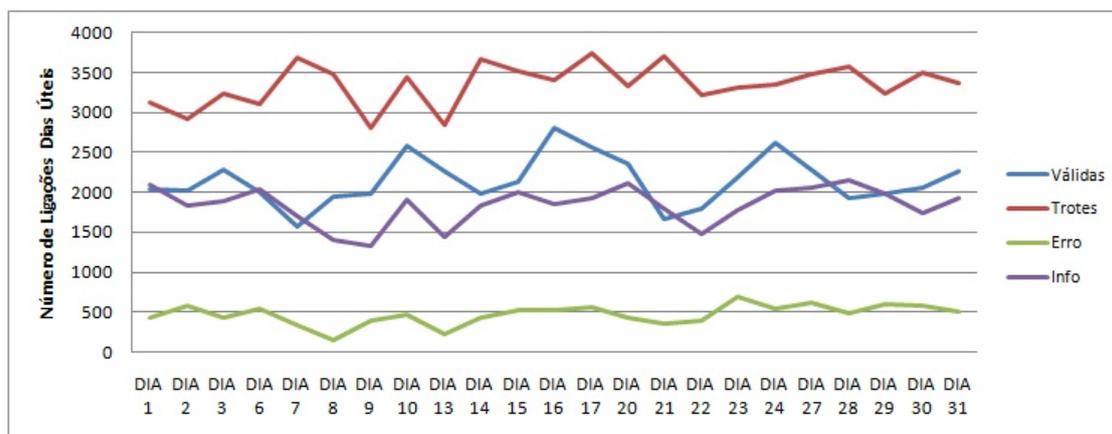


Figura 6.1: Chamadas Telefônicas em Dias Úteis

6.2 AVALIAÇÃO DOS TROTES E LIGAÇÕES VÁLIDAS NOS FINAIS DE SEMANA

Na avaliação dos trotes e ligações válidas nos finais de semana no *call center*, observou-se que o número de trotes ficava, em sua maioria, abaixo das ligações válidas no *call center*, como pode ser visto na Figura 6.2. Foi constatado ainda que os trotes, em sua maioria,

eram originados por crianças quando estavam sem a companhia dos pais, fato esse que não ocorria nos finais de semana. A razão de analisar as ligações válidas e trotes nos finais de semana está em fazer um estudo comparativo com os dados das ligações dos dias úteis e identificar possíveis falhas no emprego dos funcionários e mal uso dos recursos disponíveis no *call center* pelos solicitantes dos serviços de emergência.

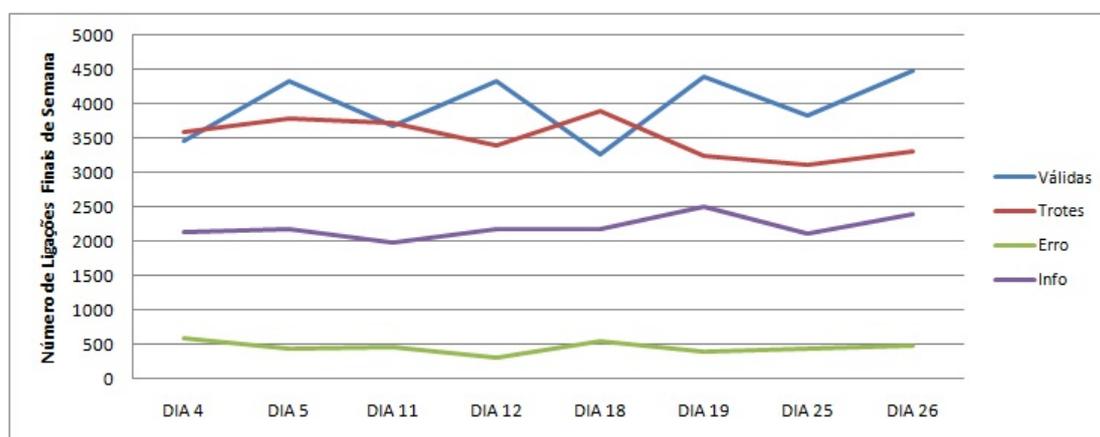


Figura 6.2: Chamadas Telefônicas nos Finais de Semana

6.3 AVALIAÇÃO DOS TROTES E LIGAÇÕES VÁLIDAS

A Figura 6.3 apresenta a união dos dados das Figuras 6.1 e 6.2 mostrando o comportamento para uma comparação entre as ligações telefônicas válidas, trotes, ligações erradas e pedidos de informações a partir das chamadas do mês de julho de 2009. Enfatiza-se a maior ocorrência de trotes em dias úteis em relação a esses acontecimentos nos finais de semana observando a Figura 6.3.

Pode-se notar que os trotes contabilizam uma média de 41% das ligações totais nos dias úteis dos meses avaliados, em geral, apresenta média de 40% em todos os meses de 2008 e 2009, (ver Figura 6.4).

É possível constatar que os trotes aumentam consideravelmente o número de chamadas no *call center* de emergência, somando-se aos abandonos, descartes e filas cheias. Gerando sobrecarga desnecessária ao serviço dos atendentes de chamadas de emergência.

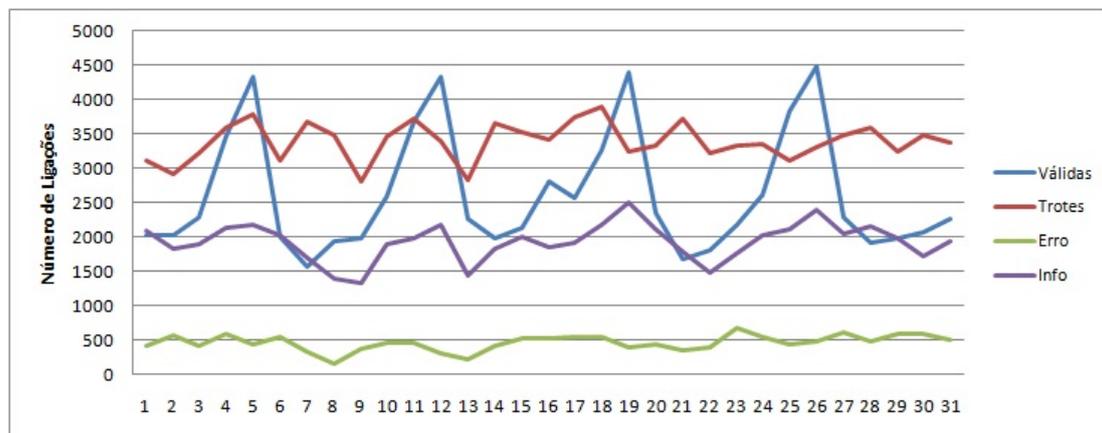


Figura 6.3: Chamadas Telefônicas na Central de Emergência

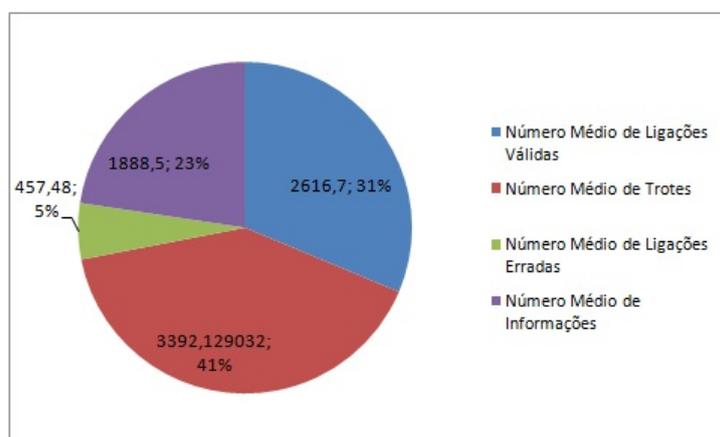


Figura 6.4: Chamadas Telefônicas em Dias Úteis

6.4 SIMULAÇÕES REALIZADAS PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO CALL CENTER

Utilizando os dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 de avaliação dos trotes e ligações válidas nos dias úteis do *call center*, foi possível, através das simulações verificar a relação entre a probabilidade de desistência, número de descartes em relação ao número de atendentes do centro de chamadas com o intuito de propor um dimensionamento aceitável do *call center*, onde houvesse o menor número de descartes e desistências para atendimento. Verificou-se ainda o desempenho do *call center* em relação ao número de atendentes com o objetivo de evitar os superdimensionamentos e subdimensionamentos, diminuindo perdas e custos desnecessários.

Para a simulação foi utilizado um computador com processador Pentium Core2Duo,

com 2 GBytes de memória RAM e HD de 120 GBytes. O funcionamento da simulação perdurou por, em média, 3 horas e gerou os resultados do modelo. Os dados das ligações telefônicas de emergência foram analisados e identificou-se que o número de chamadas apresentavam maior ocorrência, em média de 6.500, 7.500 e 8.500 ligações diárias por mês para os dias úteis e de 9.500 a 10.500 para os dias de finais de semana. As simulações transientes foram usadas em TimeNet 4 com um nível de confiança de (95%) e erro relativo máximo de (10%). Essas simulações foram realizadas para estabelecer e analisar o número de atendentes, a probabilidade de desistência $P\{\#B > 0\} \cdot (1/DESIST)$; onde, $DESIST = 1,25$ refletindo a probabilidade dos clientes por não esperarem por mais de 3 minutos até o atendimento, e o número de descartes ($P\{\#DESCARTE > 0\}$), levando em consideração que a ocupação da fila de espera possui o tamanho de 30 espaços para atendimento no *call center*.

Levou-se em consideração, para análise dos resultados das simulações, que a probabilidade de desistência segue uma relação diretamente proporcional ao número de espaços da fila. E o número de descartes das chamadas de emergência obedecem uma relação inversamente proporcional ao número de espaços da fila de espera. Vale salientar que os descartes ocorrem quando todos os atendentes estão ocupados e não há espaços disponíveis na fila do *call center*.

Foi medido o nível de utilização dos atendentes em todas as simulações e que a ocupação esteve numa média de 12 funcionários ocupados de 15 atendentes no total, simbolizando, assim, uma média de 80% dos funcionários atendendo constatemente as chamadas de emergência e, em média, 20% de funcionários ociosos. Este último dado, gerado como possível consequência das faltas ao trabalho, refeições alternadas, tempo de descanso, paradas para necessidades fisiológicas e saída de um atendente por finalizar seu trabalho e a entrada de outro que está assumindo o turno, somado aos momentos em que os atendentes estão aguardando ligações e não estão atendendo usuários.

Realizou-se o estudo do menor número de descartes de ligações telefônicas e da menor desistência dos usuários dos serviços de emergência para determinar o número necessário de funcionários para um atendimento eficiente das chamadas de emergência. Analisando o número de ligações recebidas pelo *call center* no período de 2008 a 2009, as chamadas de emergência nos dias úteis variaram, em média, de 6.500 a 8.500 no total. Nos finais de semana, essas chamadas alcançaram de 9.500 a 10.500 ligações ao dia. Mantendo esses picos totais diários em todo o período de análise.

6.5 SIMULAÇÃO PARA PREVISÃO DE ATENDENTES DO CALL CENTER

Esta seção está dividida em 6 simulações realizadas com o intuito de analisar os resultados e propor uma quantidade ideal de espaços na fila de espera e de atendentes trabalhando no *call center* de emergência.

6.5.1 Simulação 1

Utilizando os dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 e mantendo os procedimentos da Seção 6.4, foi realizada a simulação transiente com nível de confiança de 95% e com erro máximo relativo de 10%. Realizando o procedimento de simulação em intervalos de 15 a 100 atendentes. Em todos os intervalos adotou-se uma carga de 6.500 ligações telefônicas para os dias úteis no modelo do *call center*.

Para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência foram realizadas simulações com a fila variando de tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 6.500 ligações ao dia. Verificou-se que, em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 60 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 56 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.5).

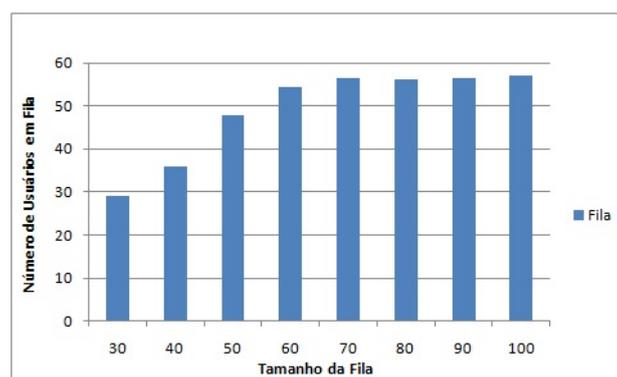


Figura 6.5: Tamanho da Fila de Espera do *call center* de Emergência para 6500 chamadas

Com base na simulação foi possível observar que o número de descartes das ligações de emergência decresceu sensivelmente até atingir o número de 50 funcionários para atendimento das chamadas de emergência. Em seguida continua decrescendo, agora de forma atenuada, em decorrência do aumento do número de funcionários. Minimizando o

número de descartes e a permanência na fila de espera do *call center* (ver Figura 6.6).

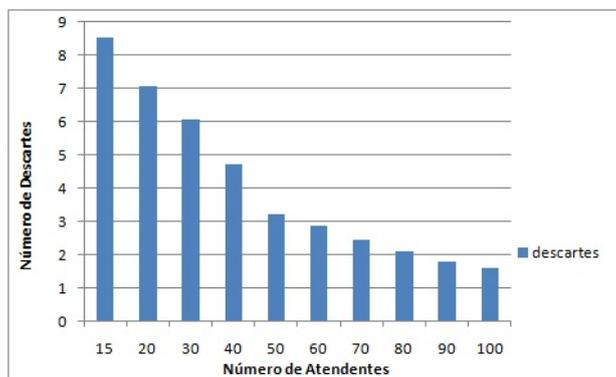


Figura 6.6: Descartes de 6.500 Chamadas Telefônicas

Em relação à probabilidade de desistência, esta decresceu sensivelmente também até atingir a quantidade de 40 atendentes no *call center*. Em seguida continua decrescimento, agora de forma atenuada, em razão da quantidade de atendentes ser suficiente para haver o mínimo de descartes com o mínimo de atendentes necessários para manterem o serviço de atendimento. E ainda haver pouco tempo de permanência na fila de espera do *call center* (ver Figura 6.7).

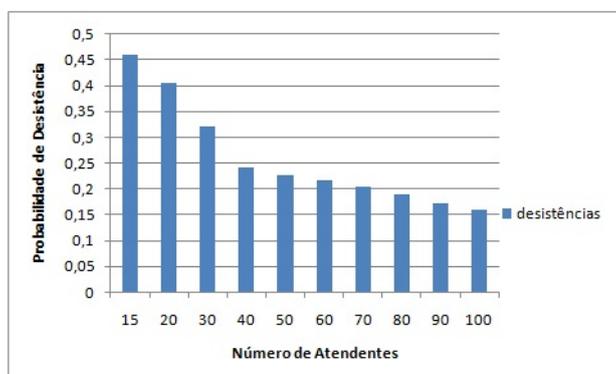


Figura 6.7: Desistências de 6.500 Chamadas Telefônicas

Analisou-se ainda, pela variação de 15 a 100 do número de total de atendentes no *call center* de emergência, o número e a porcentagem de utilização dos atendentes que estavam sendo utilizados efetivamente no serviço para receberem 6.500 chamadas de emergência. Verifica-se que no acréscimo de 15 a 50 no número total de atendentes, o número de utilização destes atendentes cresce notadamente, bem como a sua porcentagem. Percebendo-se que entre 50 e 60 funcionários totais, o número de atendentes em utilização e sua porcentagem começam a sofrer uma estabilização em suas variações. A

partir de 60 a 100 atendentes, o número de atendentes em utilização cresce e a porcentagem de utilização apresentaram variações decrescentes (ver Figura 6.8 e Tabela 6.1).

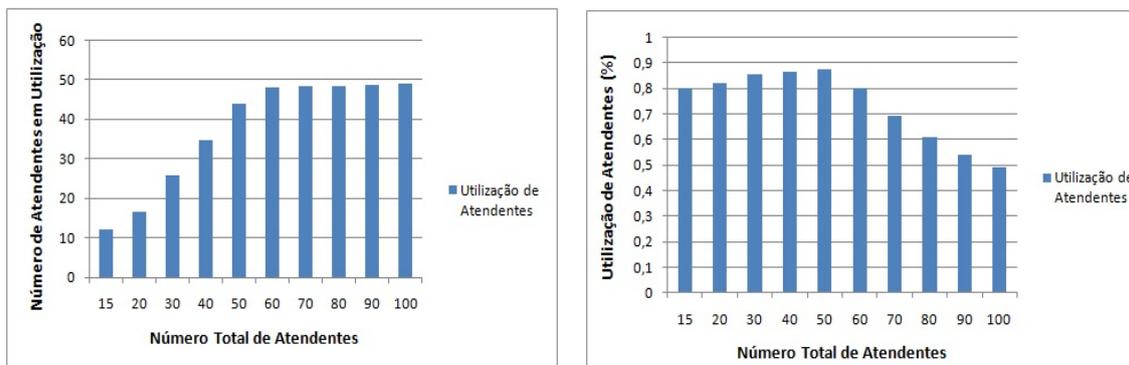


Figura 6.8: Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes

Tabela 6.1: Utilização de Atendentes com 6.500 Ligações Telefônicas

Número Total de Atendentes	Número de Atendentes em Utilização	Utilização de Atendentes(%)
15	12,015	0,8010
20	16,444	0,8222
30	25,671	0,8557
40	34,612	0,8653
50	43,805	0,8761
60	48,103	0,8016
70	48,330	0,6904
80	48,501	0,6062
90	48,706	0,5411
100	48,915	0,4891

6.5.2 Simulação 2

Através dos dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 e mantendo os procedimentos da Seção 6.4, foi realizada mais uma vez a simulação transiente com nível de confiança de 95% e com erro máximo relativo de 10% para 15 e 20 atendentes. Sendo repetido o procedimento de simulação até 100 atendentes para em todas os intervalos receberem uma carga de 7.500 ligações telefônicas para os dias úteis no modelo do *call center*.

Para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência foram realizadas simulações com a fila variando de tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 7.500 ligações ao dia. Verificou-se que, em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 70 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 62 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.9).

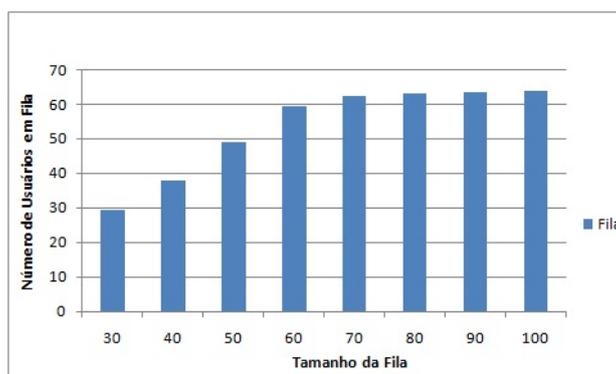


Figura 6.9: Tamanho da Fila de Espera do *call center* de Emergência para 7500 chamadas

Foi possível observar que o número de descartes das ligações de emergência decresceu sensivelmente até atingir o número de 60 funcionários para atendimento das chamadas de emergência. Em seguida continua decrescendo, agora de forma atenuada, em decorrência do aumento do número de funcionários. Minimizando o número de descartes e ainda mínima permanência na fila do *call center* (ver Figura 6.10).

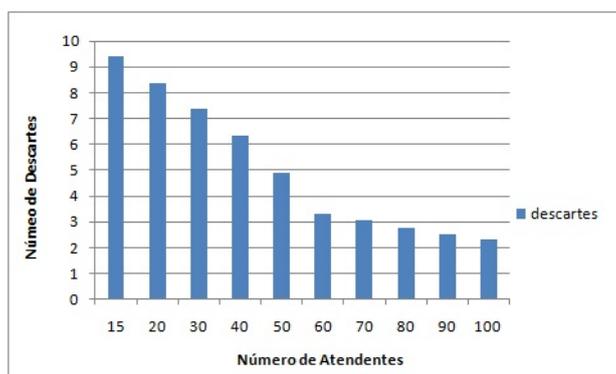


Figura 6.10: Descartes de 7.500 Chamadas Telefônicas

A probabilidade de desistência decresceu sensivelmente também até atingir a quanti-

dade de 70 atendentes no *call center*. Continuou decréscimo, agora de forma atenuada, em razão da quantidade de atendentes ser suficiente para manterem o serviço de atendimento do *call center* (ver Figura 6.11).

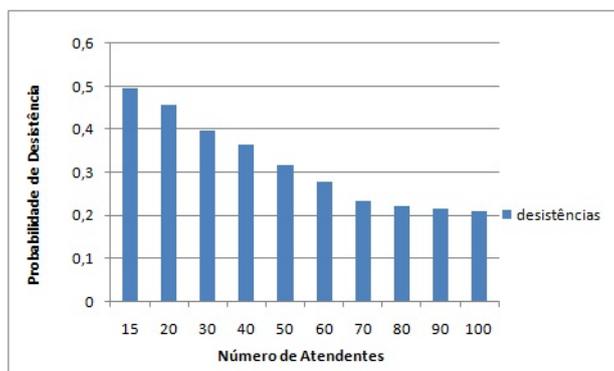


Figura 6.11: Desistências de 7.500 Chamadas Telefônicas

Analisou-se o número e a porcentagem de utilização dos atendentes que estavam sendo utilizados efetivamente no serviço para receberem 7.500 chamadas de emergência, pela variação de 15 a 100 do número de total de atendentes no *call center* de emergência. No acréscimo de 15 a 50 no número total de atendentes notou-se que o número de utilização destes atendentes cresce notadamente, bem como a sua porcentagem. É verificado que entre 60 e 70 funcionários totais, o número de atendentes em utilização começa a sofrer uma estabilização em sua variação. O número de atendentes em utilização cresce e as porcentagens de utilização apresentaram variações de decréscimo a partir de 70 a 100 atendentes (ver Figura 6.12 e Tabela 6.2).

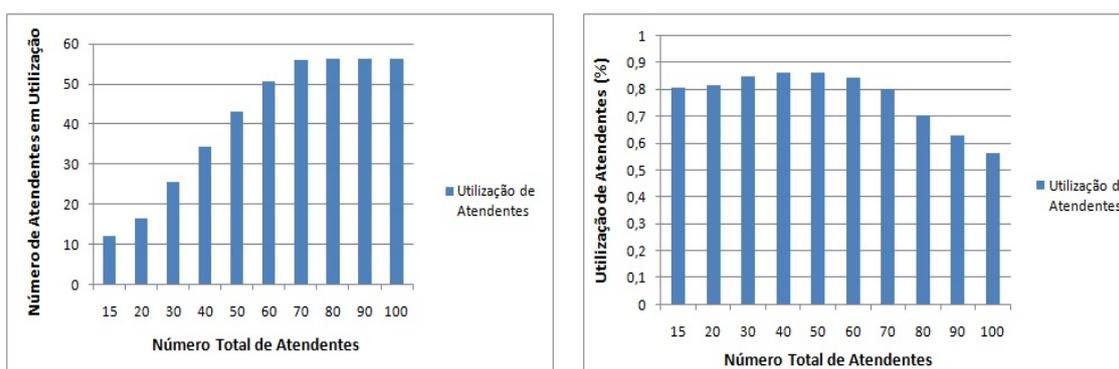


Figura 6.12: Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes

Tabela 6.2: Utilização de Atendentes para 7.500 Ligações Telefônicas

Número Total de Atendentes	Número de Atendentes em Utilização	Utilização de Atendentes(%)
15	12,120	0,8080
20	16,275	0,8137
30	25,419	0,8473
40	34,410	0,8601
50	43,201	0,8640
60	50,718	0,8453
70	55,998	0,7999
80	56,321	0,7040
90	56,379	0,6264
100	56,413	0,5641

6.5.3 Simulação 3

Utilizando os dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 e mantendo os procedimentos da Seção 6.4, foi realizada mais uma vez a simulação transiente com nível de confiança de 95% e com erro máximo relativo de 10%. Sendo repetido o procedimento de simulação a partir de 15 até 100 atendentes. Em todas as simulações desses intervalos receberam uma carga de 8.500 ligações telefônicas para os dias úteis no modelo do *call center*.

Para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência foram realizadas simulações com a fila variando de tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 8.500 ligações ao dia. Verificou-se que, em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 70 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 72 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.13).

Foi observado que quando o número de funcionários para atendimento das chamadas de emergência atingiu 80 o número de descartes das ligações de emergência parou de decrescer sensivelmente. Passando a decrescer, agora de forma atenuada, em decorrência do aumento do número de funcionários. Minimizando o número de descartes e alcançando ainda a mínima permanência na fila do *call center* (ver Figura 6.14).

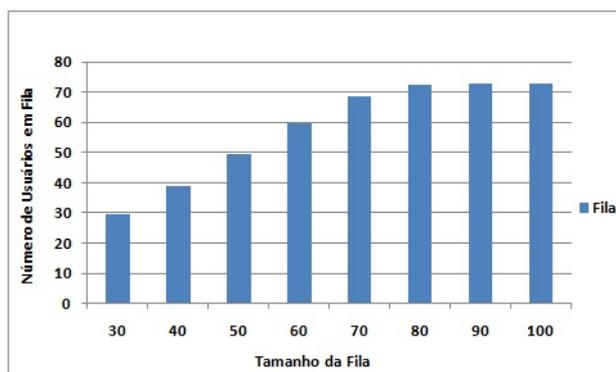


Figura 6.13: Tamanho da Fila de Espera do *call center* de Emergência para 8500 chamadas

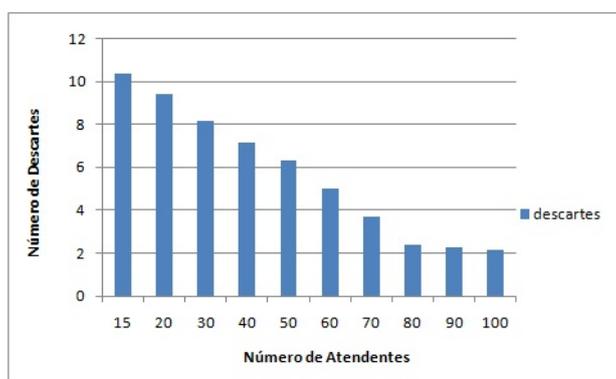


Figura 6.14: Descartes de 8.500 Chamadas Telefônicas

A probabilidade de desistência decresceu sensivelmente também até atingir a quantidade de 80 atendentes no *call center*. A partir de 80 atendentes passa a decrescer de forma atenuada, em razão da quantidade de atendentes ser suficiente para haver o mínimo de descartes com o mínimo de atendentes necessários para manterem o serviço de atendimento. E ainda haver pouco tempo de permanência na fila de espera do *call center* (ver Figura 6.15).

Analisou-se novamente, pela variação de 15 a 100 do número de total de atendentes no *call center* de emergência, o número e a porcentagem de utilização dos atendentes que estavam sendo utilizados efetivamente no serviço para receberem 8.500 chamadas de emergência. Notou-se que no acréscimo de 15 a 60 no número total de atendentes, o número e a porcentagem de utilização destes atendentes cresce notadamente. Onde é verificado que entre 70 e 80 funcionários totais, o número de atendentes em utilização e sua porcentagem começam a sofrer uma estabilização. A partir de 90 a 100 atendentes, o número de atendentes em utilização cresce e a porcentagem de utilização apresentaram decréscimo (ver Figura 6.16 e Tabela 6.3).

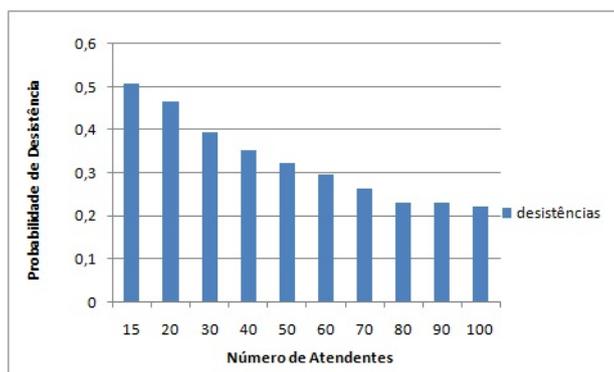


Figura 6.15: Desistências de 8.500 Chamadas Telefônicas

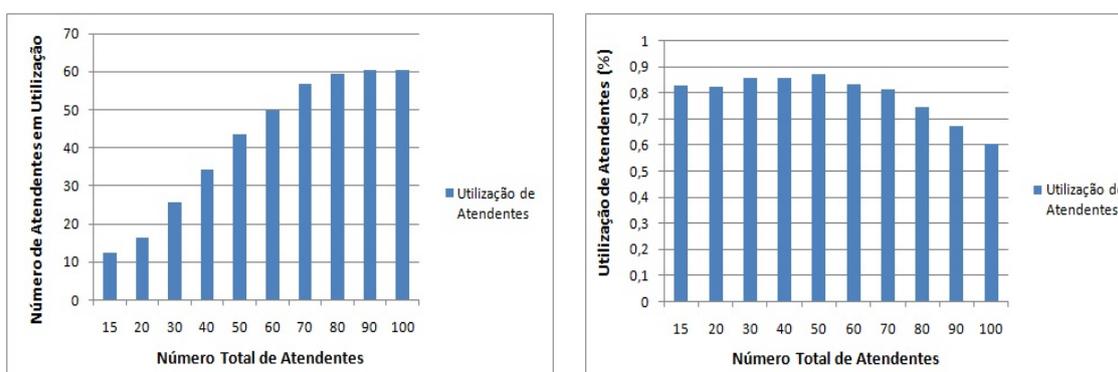


Figura 6.16: Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes

Tabela 6.3: Utilização de Atendentes para 8.500 Ligações Telefônicas

Número Total de Atendentes	Número de Atendentes em Utilização	Utilização de Atendentes(%)
15	12,3915	0,8261
20	16,275	0,8137
30	25,717	0,8572
40	34,359	0,8589
50	43,551	0,8710
60	49,974	0,8329
70	56,928	0,8132
80	59,483	0,7435
90	60,452	0,6716
100	60,594	0,6059

6.5.4 Simulação 4

Com os dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 e mantendo os procedimentos da Seção 6.4, foi realizada mais uma vez a simulação transiente com

nível de confiança de 95% e com erro máximo relativo de 10%. Repetindo o procedimento de simulação para os intervalos de 15 até 100 atendentes para em todas as simulações receberem uma carga de 9.500 ligações telefônicas para os dias de finais de semana no modelo do *call center*.

Para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência foram realizadas simulações com a fila variando de tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 9.500 ligações ao dia. Verificou-se que, em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 80 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 81 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.17).

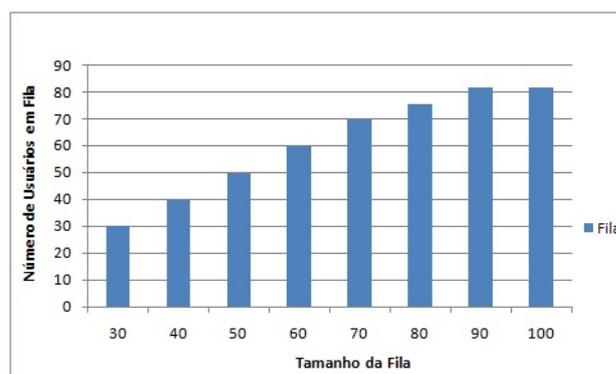


Figura 6.17: Tamanho da Fila de Espera do *call center* de Emergência para 9500 chamadas

Com base nas simulações foi observado que o número de descartes das ligações de emergência decresceu sensivelmente até atingir o número de 90 funcionários para atendimento das chamadas de emergência. Em seguida continua decrescendo, agora de forma atenuada, em decorrência do aumento do número de funcionários. Com a minimização do número de descartes e ainda alcançando mínima permanência na fila do *call center* (ver Figura 6.18).

Em relação à probabilidade de desistência, esta decresceu sensivelmente também até atingir a quantidade de 80 atendentes no *call center*. Em seguida continua decrescendo, agora de forma atenuada, em razão da quantidade de atendentes ser suficiente para haver o mínimo de descartes com o mínimo de atendentes necessários para manterem o serviço de atendimento. E ainda haver pouco tempo de permanência na fila de espera do *call center* (ver Figura 6.19).

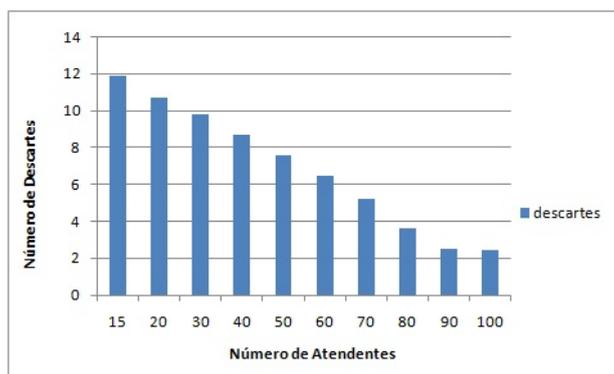


Figura 6.18: Descartes de 9.500 Chamadas Telefônicas

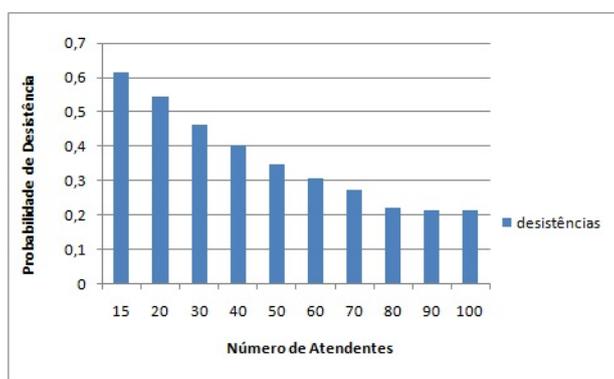


Figura 6.19: Desistências de 9.500 Chamadas Telefônicas

Analisou-se novamente o número e a porcentagem de utilização dos atendentes que estavam sendo utilizados efetivamente no serviço para receberem 9.500 chamadas de emergência, pela variação de 15 a 100 no número total de atendentes no *call center* de emergência. O número e a porcentagem de utilização dos atendentes cresce notadamente durante o acréscimo de 15 a 60 no número total de atendentes. Verificou-se que entre 70 e 80 funcionários totais, o número de atendentes em utilização e sua porcentagem começam a sofrer uma estabilização em suas variações. A partir de 80 a 100 atendentes, o número de atendentes em utilização cresce e as porcentagens de utilização apresentaram decréscimo (ver Figura 6.20 e Tabela 6.4).

6.5.5 Simulação 5

Com os dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 e mantendo os procedimentos da Seção 6.4, foi realizada novamente a simulação transiente com nível de confiança de 95% e com erro máximo relativo de 10%. Repetido-se os procedimentos

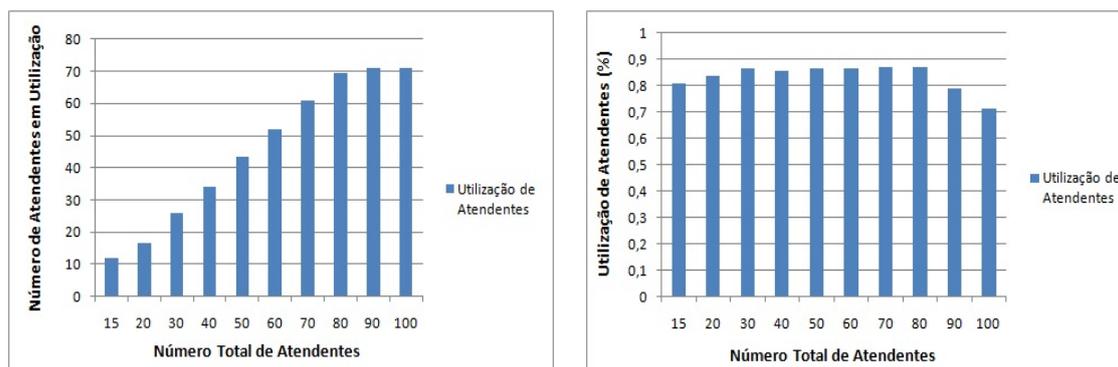


Figura 6.20: Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes

Tabela 6.4: Utilização de Atendentes para 9.500 Ligações Telefônicas

Número Total de Atendentes	Número de Atendentes em Utilização	Utilização de Atendentes(%)
15	12,111	0,8074
20	16,696	0,8348
30	25,961	0,8653
40	34,210	0,8552
50	43,236	0,8647
60	51,985	0,8664
70	60,863	0,8694
80	69,601	0,8700
90	70,836	0,7870
100	70,985	0,7098

de simulação para os intervalos compreendidos entre 15 e 100 atendentes. Todas as simulações receberam uma carga de 10.000 ligações telefônicas para os dias de finais de semana no modelo do *call center*.

Para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência foram realizadas simulações com a fila variando de tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 10.000 ligações ao dia. Verificou-se que, em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 80 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 85 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.21).

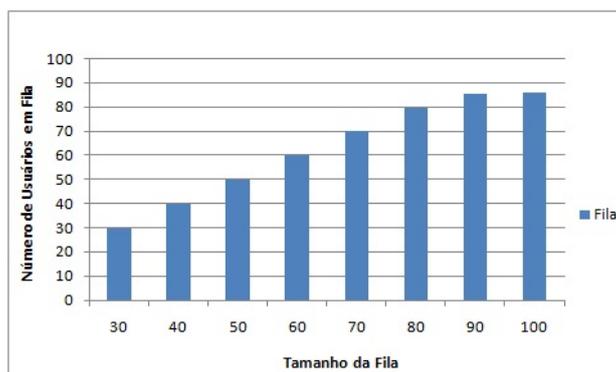


Figura 6.21: Tamanho da Fila de Espera do *call center* de Emergência para 10000 chamadas

Observou-se que o número de descartes das ligações de emergência decresceu sensivelmente até atingir o número de 90 funcionários para atendimento das chamadas de emergência. Em seguida continua decrescendo, agora de forma atenuada, em decorrência do aumento do número de funcionários. Minimizando o número de descartes e ainda mínima permanência na fila do *call center* (ver Figura 6.22).

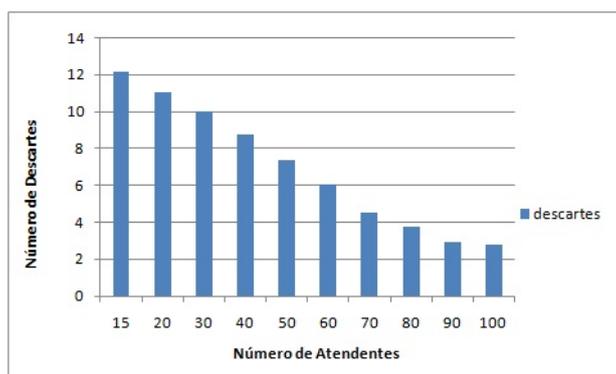


Figura 6.22: Descartes de 10.000 Chamadas Telefônicas

A probabilidade de desistência decresceu sensivelmente também até atingir a quantidade de 90 atendentes no *call center*. Decréscimo a partir de 90 atendentes, agora de forma atenuada, em razão da quantidade de atendentes ser suficiente para haver o mínimo de descartes com o mínimo de atendentes necessários para manterem o serviço de atendimento. E com pouco tempo de permanência na fila de espera do *call center* (ver Figura 6.23).

Analisou-se, pela variação de 15 a 100 do número de total de atendentes no *call center* de emergência, o número e a porcentagem de utilização dos atendentes que estavam sendo utilizados efetivamente no serviço para receberem 10.000 chamadas de emergência. Nota-

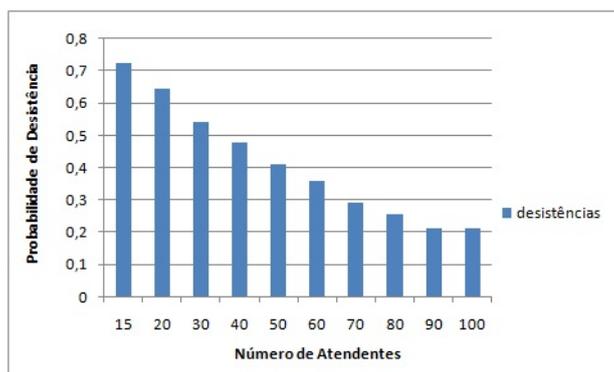


Figura 6.23: Desistências de 10.000 Chamadas Telefônicas

se que no acréscimo de 15 a 90 no número total de atendentes, o número de utilização destes atendentes cresce notadamente, bem como a sua porcentagem. Onde é verificado que entre 80 e 90 funcionários totais, o número de atendentes em utilização e sua porcentagem começam a sofrer uma estabilização em suas variações. O número de atendentes em utilização cresce a porcentagem de utilização apresentaram decréscimo com a variação do número total de atendentes de 90 a 100 (ver Figura 6.24 e Tabela 6.5).

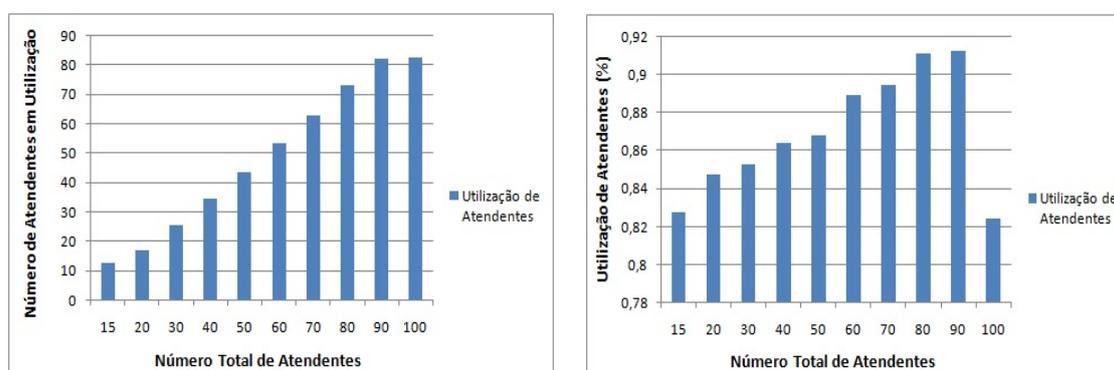


Figura 6.24: Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes

6.5.6 Simulação 6

Utilizando os dados obtidos do *call center* de emergência como descrito na Seção 3.3 e mantendo os procedimentos da Seção 6.4, foi realizada, finalmente, a simulação transiente com nível de confiança de 95% e com erro máximo relativo de 10%. Sendo repetido o procedimento de simulação para outros intervalos de 15 e 100 atendentes. Todas as simulações receberam uma carga de 10.500 ligações telefônicas para os dias de finais de semana no modelo do *call center*.

Tabela 6.5: Utilização de Atendentes para 10.000 Ligações Telefônicas

Número Total de Atendentes	Número de Atendentes em Utilização	Utilização de Atendentes(%)
15	12,414	0,8276
20	16,950	0,8475
30	25,571	0,8523
40	34,556	0,8639
50	43,391	0,8678
60	53,362	0,8893
70	62,605	0,8943
80	72,904	0,9113
90	82,138	0,9126
100	82,426	0,8242

Fila com tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 10500 ligações ao dia. Em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 80 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 86 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços.

Para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência foram realizadas simulações com a fila variando de tamanho de 30 a 100 espaços, utilizando 15 atendentes para uma carga total de 10.500 ligações ao dia. Verificou-se que, em média, 29 pessoas ocupavam a fila de espera até serem atendidas quando a fila tinha 30 espaços. Esse comportamento da ocupação da fila em relação ao seus espaços alcançando quase todo o total de espaços existentes se repetiu até a fila atingir 80 espaços. A partir deste momento a ocupação estabilizou-se na média de 86 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.25).

Com base na simulação foi observado que o número de descartes das ligações de emergência decresceu sensivelmente até atingir o número de 90 funcionários para atendimento das chamadas de emergência. Em seguida continua decrescendo, agora de forma atenuada, em decorrência do aumento do número de funcionários. Minimizando o número de descartes e ainda mínima permanência na fila do *call center* (ver Figura 6.26).

Em relação à probabilidade de desistência, esta decresceu sensivelmente também até

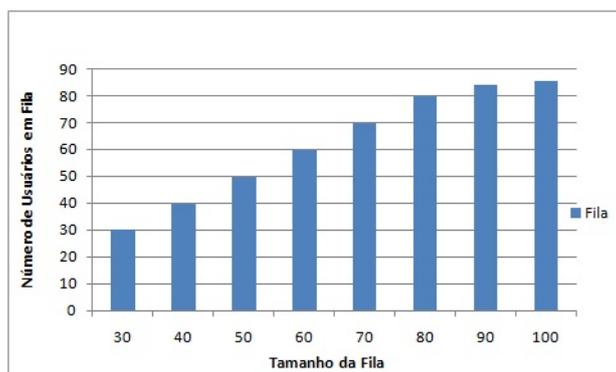


Figura 6.25: Tamanho da Fila de Espera do *call center* de Emergência para 10500 chamadas

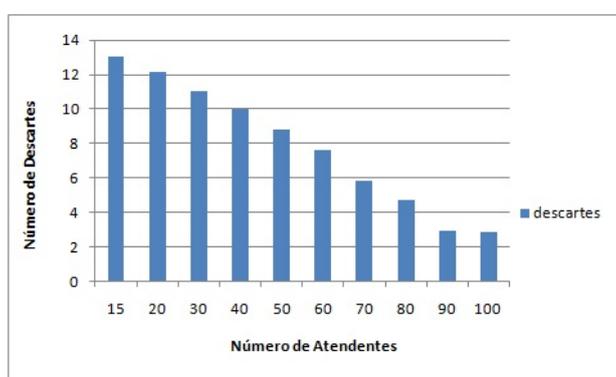


Figura 6.26: Descartes de 10.500 Chamadas Telefônicas

atingir a quantidade de 90 atendentes no *call center*. Em seguida continua decrescente, agora de forma atenuada, em razão da quantidade de atendentes ser suficiente para haver o mínimo de descartes com o mínimo de atendentes necessários para manterem o serviço de atendimento. E ainda haver pouco tempo de permanência na fila de espera do *call center* (ver Figura 6.27).

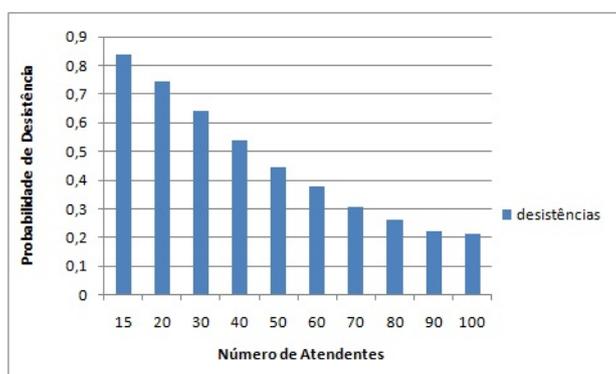


Figura 6.27: Desistências de 10.500 Chamadas Telefônicas

Analisou-se novamente, pela variação de 15 a 100 do número de total de atendentes no *call center* de emergência, o número e a porcentagem de utilização dos atendentes que estavam sendo utilizados efetivamente no serviço para receberem 10.500 chamadas de emergência. Nota-se que no acréscimo de 15 a 90 no número total de atendentes, o número de utilização destes atendentes cresce notadamente, bem como a sua porcentagem. Onde é verificado que entre 90 e 100 funcionários totais, o número de atendentes em utilização e sua porcentagem começam a sofrer uma estabilização em suas variações e o número de atendentes em utilização cresce e a porcentagem de utilização decresce (ver Figura 6.28 e Tabela 6.6).

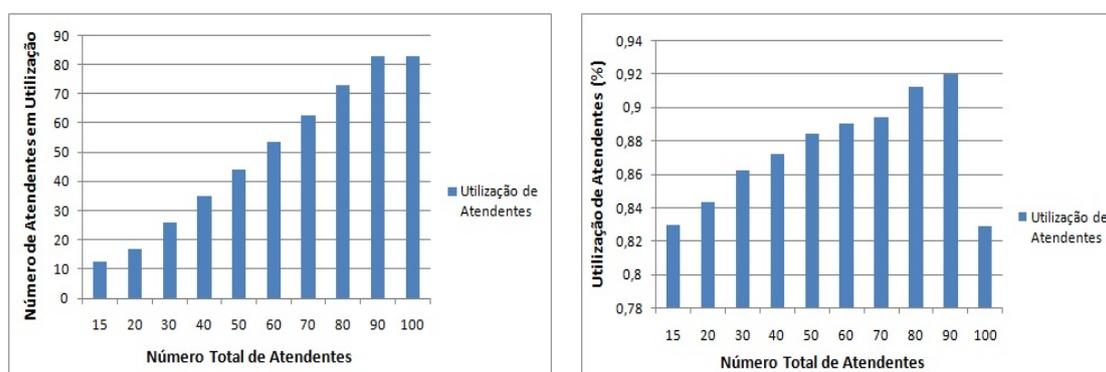


Figura 6.28: Número e Porcentagem de Utilização de Atendentes

Tabela 6.6: Utilização de Atendentes com 10.500 Ligações Telefônicas

Número Total de Atendentes	Número de Atendentes em Utilização	Utilização de Atendentes(%)
15	12,451	0,8301
20	16,870	0,8435
30	25,871	0,8623
40	34,884	0,8721
50	44,213	0,8842
60	53,431	0,8905
70	63,008	0,8943
80	72,972	0,9121
90	82,801	0,9200
100	82,926	0,8292

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em entrevista com os atendentes do *call center* foi levantada a provável causa do grande número de trotes, em sua maioria, eram originadas de telefones públicos e por crianças. Sendo essas chamadas ocorridas, frequentemente, em dias úteis. Evocando a necessidade do investimento nas escolas e meios de comunicação para educar e conscientizar a população quanto à utilização dos serviços de emergência com responsabilidade, numa ação conjunta dos pais, da população e os órgãos do governo de cada Estado. Os trotes causam grandes transtornos à população, uma vez que uma viatura de emergência é deslocada para atender uma solicitação de uma ocorrência de emergência inexistente, deixa déficit em sua área de abrangência, onde poderia estar cumprindo uma ocorrência de emergência real. Gera custos e riscos de acidentes desnecessários.

Através dos resultados das simulações realizadas para determinação do tamanho ideal da fila de espera do *call center* de emergência, com 15 atendentes, em uma carga total de 6500 ligações ao dia, chegou-se a conclusão de que o tamanho ideal da fila ficou próximo de 70 espaços. Em virtude da ocupação ter estabilizado na média de 56 usuários, mesmo variando o tamanho da fila para alcançar 100 espaços (ver Figura 6.5).

Analisando a menor incidência de usuários dos serviços de emergência na fila de espera do *call center*, do menor número de descartes, da menor probabilidade de desistências das ligações telefônicas de emergência e da utilização máxima dos atendentes para se chegar ao número ideal e eficiente de utilização desses atendentes, conforme as simulações de 1 a 6 do estudo. Leva-se a concluir que o número mais apropriado de atendentes para 6.500 ligações está entre 40 e 50; para 7.500 ligações está entre 60 e 70 atendentes; para 8.500 ligações requer uma média de 80 atendentes; para 9.500 ligações está entre 80 e 90; para 10.000 e 10.500 ligações requer em média 90 atendentes no *call center*.

Foi possível constatar ainda que o *call center* estudado está sub-dimensionado, pois utiliza um número constante e insuficiente de 15 funcionários por turnos de serviço para atender de 6.500 a 10.500 chamadas ao dia. Isso requer uma demanda de, em média, 40 a 90 funcionários em média para atendimento eficiente dos usuários do *call center*. Foi possível, portanto, observar um grande número de reclamações e atrasos das respostas às chamadas de emergência, bem como grande número de descartes e ineficiência do serviço, o qual deixa, constantemente, de evitar delitos e salvar vidas.

Para minimizar o que foi constatado quanto ao emprego de 80% do efetivo total disponível no *call center* em um turno, após a ampliação do número de atendentes como

é proposto neste trabalho, é necessário ainda manter atinentes reservas para que as causas de funcionários ociosos não atrapalhem o desempenho da central de emergência.

Conclusões e Trabalhos Futuros

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A população cresceu rapidamente e, juntamente com este crescimento, somaram-se grandes desastres sobre esta, tais como: alagamentos, incêndios, desabamentos, acidentes automobilísticos e outros os mais variados possíveis. A violência também tende a crescer com o aumento populacional e eventos tais como: agressões, assaltos, furtos, assassinatos e outros delitos são cometidos a cada momento. Portanto, é necessário que se tenha um sistema organizado para acionamento com rapidez e eficiência dos órgãos de resposta às emergências.

Atualmente, existe uma grande demanda pelos serviços de emergência, não há como se ter uma cidade desenvolvida sem possuir órgãos eficientes que possam dar apoio em acidentes que venham a ocorrer e manter a segurança da população. As ocorrências crescem assustadoramente, fato que comprova este crescimento é que só em Pernambuco as ocorrências de emergência quase que dobraram de 2008 para 2009.

O *call center* de emergência é o primeiro contato que a população faz com um órgão de segurança pública, é através de um telefone público ou particular e por números pré-estabelecidos (190 Polícia Militar, 197 Polícia Civil e 193 Corpo de Bombeiros) que o cidadão, gratuitamente, pode acionar os serviços de emergência. O usuário do serviço de emergência, pode ser atendido por pessoas treinadas de forma a coletarem informações essenciais, de maneira eficiente, para dar apoio ao pronto emprego na chegada ao local da ocorrência de emergência, auxiliando ainda os solicitantes como procederem nos primeiros minutos diante de situações de emergência enquanto aguardam o socorro.

Esse trabalho propôs uma metodologia para avaliação de desempenho e planejamento de capacidade de *call centers* de emergência baseada em modelos estocásticos expolinomiais. A metodologia para avaliação de desempenho e planejamento de capacidade foi aplicada à estudos de caso que consideraram *traces* de dados reais coletados de usuários do centro de atendimento de emergências. Os resultados das métricas de desempenho foram obtidos através do modelo estocástico proposto. As avaliações foram realizadas utilizando o *software* TimeNET 4.0, que permite a criação de modelos SPN.

Os modelos estocásticos expolinomiais propostos demonstram, através dos resultados

apresentados, que podem ajudar no planejamento da infraestrutura do *call center* de emergência e dar suporte na melhoria da qualidade do serviço oferecido. A avaliação baseada em modelos possibilita a análise de desempenho e de sistemas sem a necessidade de interferência no sistema real e pode dar suporte em tomadas de decisões, antes simuladas para que os erros possam ser sanados e diminuir custos altos em manobras ariscadas. Avaliar um sistema em operação pode não ser uma tarefa de fácil implementação ou ainda pode prejudicar sua operação. O uso de modelos como mecanismo de avaliação também torna possível a avaliação de cenários complexos, cuja implementação real pode ser inviável devido aos custos.

Apresentou-se a análise do impacto das chamadas telefônicas utilizando os dados reais dos anos de 2008 e 2009. Este estudo teve como objetivo a redução do tempo de espera em fila, do número de descartes, da probabilidade de desistência do usuário e melhoria dos níveis de utilização dos funcionários. Estas interferências, muitas vezes, causam sub-dimensionamento ou super-dimensionamento do *call center*. Portanto, analisando a menor incidência de usuários dos serviços de emergência na fila de espera do *call center*, da menor probabilidade de descartes e da menor probabilidade de desistências das ligações telefônicas de emergência buscou-se encontrar o número apropriado de atendentes. O estudo de um conjunto de cenários demonstrou a metodologia de avaliação proposta e a potencialidade do modelo concebido. Vários experimentos foram realizados a fim de contemplar os efeitos de variações do número de chamadas no *call center* e suas relações com a fila de espera, o número de descartes e desistências das chamadas de emergência, bem como o nível de utilização dos funcionários.

7.1 CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições desse trabalho consistem nas proposições de:

- A adaptação de uma metodologia para avaliação de desempenho e planejamento de capacidade de *call center* de emergência que avalie o desempenho e realize o planejamento de uma central de emergência. O processo adotado considera os estados das centrais de emergência, que correspondem a configurações específicas em relação ao número de chamadas, atendentes e tamanho determinado da fila.
- O estabelecimento de um modelo estocástico expolinomial para avaliação de desempenho. O modelo de desempenho *call center* de emergência permite a avaliação do impacto de flutuações da carga de trabalho (ligações telefônicas de emergência)

no desempenho dos serviços e dos atendentes. Essa avaliação provê insumos para definição de estratégias e políticas para redução da degradação do desempenho de forma que se possa garantir a qualidade do serviço oferecido pela central de emergência;

- Uma outra contribuição, foi o estabelecimento de uma sistemática de avaliação que foi aplicada em função dos resultados obtidos, tendo como base o menor número de descartes e desistências das chamadas de emergência para propor o número ideal de funcionários do *call center*.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, é proposto um sistema automatizado que classifique as ligações para cada instituição, sem que seja necessário o atendente fazer tal serviço. Pois, atualmente, todas as ligações para a Polícia Militar, o Corpo de Bombeiros, a Polícia Civil e a Polícia Científica são direcionadas para um só grupo de atendentes que separa as ligações por cada órgão e só depois despacha para um atendente especializado.

Adicionalmente, pode-se incluir a implementação de uma ferramenta que automatize a avaliação do desempenho do *call center*, considerando os descartes, as desistências e a fila de espera das chamadas de emergência adotadas nesse trabalho. Essa ferramenta possibilitará que usuários sem conhecimento específico de avaliação de desempenho possam planejar melhor a capacidade do *call center*, evitando a má utilização dos funcionários e má configuração do centro de emergência.

É proposto, ainda, um estudo utilizando o modelo proposto para analisar o impacto das chamadas de solicitação de informações e re chamadas ocorridas no *call center* de emergência.

Pode-se incluir a avaliação de dependabilidade onde pode ser realizada a análise do efeito dos eventos de falhas e das atividades de reparo na disponibilidade e confiabilidade do *call center*. Técnicas de avaliação poderão ser aplicadas levando em consideração os requisitos da infraestrutura disponíveis, a estrutura do modelo refinado e as métricas de dependabilidade. É proposta a análise da disponibilidade e confiabilidade do *call center* considerando variações na sua infraestrutura durante um intervalo de tempo.

É pertinente a elaboração de um estudo da relação custo-benefício da realização de campanhas publicitárias para auxiliar na diminuição da ocorrência de trotes e realizar a

comparação com o impacto do aumento de funcionários no *call center*.

APÊNDICE A

APÊNDICE A

A.1 SINTAXE DAS EXPRESSÕES SUPORTADAS PELO TIMENET 4.0

O apêndice apresenta a sintaxe das expressões suportada pelo TimeNet 4.0 [ZK07] para especificação das métricas.

A.1.1 Símbolos Usados

"symbol" = símbolo terminal

<symbol> = não - símbolo terminal

expr1 | expr2 = Expressão 1 ou Expressão 2

Expression = Uma expressão ou ocorrências

[Expression] = Uma expressão opcional

<md exp delay> = marcação dependente de uma transição exponencial

<md det delay> = marcação dependente de uma transição determinística

<md weight> = disparo de peso dependente de marcação de uma transição imediata

<md enable> = guarda de uma transição imediata marcação-dependente ou dependente de uma marcação

$\langle md\ arc\ mult \rangle =$ multiplicidade dependente da marcação de uma entrada, saída ou arco do inibidor

$\langle reward\ def \rangle =$ Definição da medida de recompensa de um parâmetro de atraso dependente

$\langle param\ def \rangle =$ Definição de parâmetros de atrasos dependentes

$\langle pmf\ def \rangle =$ Atraso de disparo de uma transição generalizada

A.1.2 Definições da Sintaxe

$\langle md\ exp\ delay \rangle : \langle if\ expr \rangle$

$\langle md\ det\ delay \rangle : \langle if\ expr \rangle$

$\langle md\ weight \rangle : \langle if\ expr \rangle$

$\langle md\ enable \rangle : \langle logic\ condition \rangle ; "$

$\langle md\ arc\ mult \rangle : \langle if\ expr \rangle$

$\langle reward\ def \rangle : \langle expression \rangle ; "$

$\langle param\ def \rangle : \langle expression \rangle ; "$

$\langle pmf\ def \rangle : \langle pmf\ definition \rangle ; "$

$\langle pmf\ definition \rangle : "DETERMINISTIC(" \langle real\ constant \rangle); "$

| "UNIFORM(" $\langle real\ constant \rangle$ " , " $\langle real\ constant \rangle$ "); "

| $\langle pmf\ expression \rangle ; "$

<pmf definition> : "<pmf expression> "+"<pmf expression>
 | <pmf expression> "-"<pmf expression>
 | <impulse>
 | <rectangle>

<impulse> : [<real constant>["*"] "I["<real constant>"]]"

<if expr> : "IF"<logic condition> ";"<expression>
 "ELSE"<expression> ","| <expression> ";"

<expression> : <real value>
 | "-"<expression>
 | "("<expression> ")"
 | <expression> <num op> <expression>

<real value> : <real parameter>
 | <real constant>
 | "("<expression> ")"
 | <expression> <num op> <expression>

<real parameter> : <identifier>

<rew item> : "P {"<logic condition> }"
 | "P"{"<logic condition> "IF"<logic condition>
 | 'E {"<marc func> }"logic condition | 'E {"<marc func> "IF"<logic condition> }"

<logic condition> : <comparison>
 | "NOT"<logic condition>
 | <logic condition> "OR" <logic condition>
 | <logic condition> "AND" <logic condition>

<comparison> : <mark func> <comp oper> <mark func>

<comp oper> : "=" | "/" = | ">" | "<" | ">=" | "<="

<mark func> : <mark func> <num op> <mark func> | "(" <mark func> ")" | <integer value>

<num op> : "+" | "-" | "*" | "/" | "?"

<integer value> : <integer constant> | <integer parameter> | <marking>

<integer constant> : <digit> { <digit> }

<integer parameter> : <identifier>

<marking> : "#" <place name>

<letter> : "a" | "..." | "z" | "A" | "..." | "Z"

<digit> : "0" | "1" | "2" | "3" | "4" | "5" | "6" | "7" | "8" | "9" | "10"

A.1.3 Expressões especiais para definições de métricas

"P"{ <logic condition> }" = Probabilidade de <logic condition>

"P"{ <logic condition1> "IF" <logic condition2> }" = Probabilidade de <logic condition1> como pré-condição <logic condition2> (Probabilidade Condicional)

"E"{ <marc func> }" = Valor esperado da expressão dependente da marcação <marc func>

"E"{ <marc func> "IF" <logic condition2> }" = Valor esperado da expressão dependente da marcação <marc func> ; as marcações são consideradas se <logic condition2> for avaliada como verdadeira

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AKZAC04] S. Aguir, F. Karaesmen, O. Zeynep Aksin, and F. Chauvet. The Impact of Retrials on Call Center Performance. *OR Spectrum* (2004) 26: 353-376 Springer-Verlag 2004, 2004.
- [AS98] Ahey and Stern. The Adoption and Impact of Advanced Emergency Response Services. NBER Working Paper Number 6595 Massachusetts Avenue Cambridge, 1998.
- [AS99] Ahey and Stern. *Information Technology and Training in Emergency Call Centers*. Industrial Relations Research Association Papers and Proceedings, 1999.
- [AS03] A.Susan and S.Stern. *A Manager-friendly Platform for Simulation Modeling and Analysis of Call Center Queueing Systems. Lecture Notes in Computer Science*, pages 81–101, 2003.
- [ASS10] ASS. *Arena Simulation Software*. Disponível em http://www.arenasimulation.com/Solutions_Contact_Center.aspx, Acessado em 15/03/2010.
- [Bal01] G. Balbo. *Introduction to Stochastic Petri Nets. Lectures on Formal Methods and Performance Analysis: First EEF/Euro Summer School on Trends in Computer Science, Berg en Dal, The Netherlands, July 3-7, 2000: Revised Lectures*, 2001.
- [BGdMT06] G. Bolch, S. Greiner, H. de Meer, and K.S. Trivedi. *Queueing Networks and Markov Chains: Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications*. Wiley-Interscience, 2006.
- [BM03] W. Blischke and D. Murthy. *Case Studies in Reliability and Maintenance*. John Wiley, 2003.
- [Cam03] M.S. Campos. *Desvendando o Minitab*. Qualitymark, 2003.

- [CL08] C. Cassandras and S. Lafortune. Introduction to Discrete Event Systems. Springer, 2008.
- [CSS08] CSS. *CallSim Software*. Disponível em <http://www.rockwellautomation.com/>, Acessado em 18/06/2008.
- [DAJ95] A.A. Desrochers and R.Y. Al-Jaar. Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems: Modeling, Control, and Performance Analysis. IEEE Press, 1995.
- [DPS00] J. Dugdale, B. Pavard, and J.L. Soubie. A pragmatic development of a computer simulation of an emergency call centre. Designing Cooperative Systems. Use of Theories and Models. Proceedings of the 5th International Conference on the Design of Cooperative Systems (COOP'2000). IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, 2000, 241-256, 2000.
- [dSLJ⁺06] A.N. da Silva, F.A.A. Lins, J.C.S. Júnior, N.S. Rosa, N.C. Quental, and P.R.M. Maciel. Avaliação de Desempenho da Composição de Web Services Usando Redes de Petri. Brazilian Symposium on Computer Networks. Curitiba, Paraná, Brazil, 2006.
- [EAS10] EASCC. *EasyCall*. Disponível em http://www.digitro.com/pt/solucoes_call-center.php, Acessado em 26/03/2010.
- [Ebe04] C.E. Ebeling. An introduction to Reliability and Maintainability Engineering. McGraw Hill, 2004.
- [ECE08] ECE. "*Dr. Kishor S. Trivedi's Homepage*", *Electrical and Computer Engineering, Pratt School of Engineering, Duke University*. Disponível em <http://www.ee.duke.edu/~kst/>, Acessado em 14/05/2008.
- [FNAA07] M. Fanaeepour, L. Naghavian, and M. Abdollahi Azgomi. Modeling and Evaluation of Call Centers with GSPN Models. aiccsa, pp.619-622, 2007 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, 2007, 2007.
- [Ger00] R. German. Performance Analysis of Communication Systems with Non-Markovian Stochastic Petri Nets. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 2000.

- [GPT00] K. Goseva-Popstojanova and K. Trivedi. *Stochastic Modeling Formalisms for Dependability, Performance and Performability. Lecture Notes in Computer Science*, pages 403–422, 2000.
- [Gra91] WK Grassmann. *Finding Transient Solutions in Markovian Event Systems Through Randomization. Numerical Solution of Markov chains*, pages 357–371, 1991.
- [Gro08] D. Gross. *Fundamentals of Queueing Theory*. Wiley India Pvt. Ltd., 2008.
- [HA98] B. Hall and J. Anton. Optimizing your Call Center through Simulation. *Call Center Solutions Magazine /Out. 98*, 1998.
- [Her01] U. Herzog. *Formal Methods for Performance Evaluation. Lecture Notes in Computer Science*, 2090:1–37, 2001.
- [HMRT01] B.R. Haverkort, R. Marie, G. Rubino, and K.S. Trivedi. *Performability Modelling: Techniques and Tools*. John Wiley & Sons Inc, 2001.
- [HMS02] L. Higgins, K. Mobley, and R. Smith. *Maintenance Engineering Handbook*. McGraw-Hill Professional, 2002.
- [IDC06] IDC06. *International Data Corporation*. Disponível em <http://www.idc.com/avaliation.jps>, Acessado em 27/09/2006.
- [IDC08a] IDC. *International Data Corporation*. Disponível em <http://www.idc.com/callcenter.jps>, Acessado em 26/09/2008.
- [IDC08b] IDC2008. *International Data Corporation*. Disponível em <http://www.idc.com/callcenter08.jps>, Acessado em 15/03/2008.
- [INA09] INA. *Integrated Net Analyzer*. Disponível em <http://www2.informatik.hu-berlin.de/~starke/ina.html>, Acessado em 30/01/2009.
- [Jai91] R. Jain. *The Art of Computer Systems Performance Analysis*. John Wiley & Sons New York, 1991.
- [Lil00] D.J. Lilja. *Measuring Computer Performance: A Practitioner's Guide*. Cambridge University Press, 2000.

- [LYT⁺03] M. Lanus, L. Yin, KS Trivedi, M. Inc, and AZ Tempe. *Hierarchical Composition and Aggregation of State-based Availability and Performability Models*. *IEEE Transactions on Reliability*, 52(1):44–52, 2003.
- [MA05] D.A. Menascé and V.A.F. Almeida. *Performance by Design: Computer Capacity Planning by Example*. Prentice Hall PTR, 2005.
- [MBC⁺98] M.A. Marsan, G. Balbo, G. Conte, S. Donatelli, and G. Franceschinis. *Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets*. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 26(2), 1998.
- [MLC96] P.R.M. Maciel, R.D. Lins, and P.R.F. Cunha. *Introduction of the Petri Net and Applied*. *X Escola de Computação, Campinas, SP*, 1996.
- [MM09] Amip Shah Ratnesh Sharma Tom Christian Virgilio Almeida Carlos Araújo Erica Souza Gustavo Callou Bruno Silva Sérgio Galdino Jose Pires Manish Marwah, Paulo Maciel. *Quantifying the Sustainability Impact of Data Center Availability*. 2009.
- [MR03] D.C. Montgomery and G.C. Runger. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Livros Técnicos e Científicos, 2003.
- [MTE09] MTE. *Ministério de Trabalho e Emprego*. Disponível em http://www.mte.gov.br/fisca_trab/inclusao/default.asp, Acessado em 10/05/2009.
- [Mur89] T. Murata. *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*. *Proceedings of the IEEE*, 77(4):541–580, 1989.
- [MZ06] A. Mandelbaum and S. Zeltyn. *The Palm/Erlang-A Queue, with Applications to Call Centers*. J. C. Baltzer AG, Science Publishers Red Bank, NJ, USA, 2006.
- [SARM06] F.N. Souza, R.D. Arteiro, N.S. Rosa, and P.R.M. Maciel. *Using Stochastic Petri Nets for Performance Modelling of Application Servers*. *Performance Modelling, Evaluation, and Optimisation of Parallel and Distributed Systems*, pages 1–8, 2006.
- [SMAC09] E. Sousa, P. Maciel, C. Araújo, and F. Chicout. *Performability Evaluation of EFT Systems for SLA Assurance*. *Parallel and Distributed Processing Symposium, International*, 0:1–8, 2009.

- [Smi05] D.J. Smith. *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers*. Butterworth-Heinemann, 2005.
- [Sou09a] E. Sousa. *Avaliação do Impacto de uma Política de Manutenção na Performabilidade de Sistemas de Transferência*. page 50, 2009.
- [Sou09b] E. Sousa. *Avaliação do Impacto de uma Política de Manutenção na Performabilidade de Sistemas de Transferência*. page 48, 2009.
- [STP96] R. Sahner, K.S. Trivedi, and A. Puliafito. *Performance and Reliability Analysis of Computer Systems: An Example-based Approach Using the SHARPE Software Package*. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [SVM04] R. Saltzman and V. Vijay Mehrotra. *A Manager-friendly Platform for Simulation Modeling and Analysis of Call Center Queueing Systems*. Winter Simulation Conference 2004, 2004.
- [SWA08] SWACC. *Sistema Web de Avaliação do Call Center*. Disponível em <http://www.sds.pe.gov.br/ciods>, Acessado em 25/06/2008.
- [TCMS93] K.S. Trivedi, G. Ciardo, M. Malhotra, and R.A. Sahner. *Dependability and Performability Analysis. Performance/SIGMETRICS Tutorials*, pages 587–612, 1993.
- [THGF96] K.S. Trivedi, S. Hunter, S. Garg, and R. Fricks. *Reliability Analysis Techniques Explored Through a Communication Network Example*. In *International Workshop on Computer-Aided Design, Test, and Evaluation for Dependability*, 1996.
- [TM93] K.S. Trivedi and M. Malhotra. *Reliability and Performability Techniques and Tools: A Survey. Messung, Modellierung und Bewertung von Rechen- und Kommunikationssystemen*, pages 27–48, 1993.
- [TMT08] TMT. *"The Mobius Tool - Overview of Features"*. Disponível em <http://www.mobius.uiuc.edu/>, Acessado em 15/05/2008.
- [TNS08] TNSP. *TimeNet 4.0, Fachgebiet System- und Software-Engineering*. Disponível em <http://www.tu-ilmenau.de/fakia/TimeNET.timenet.0.html>, Acessado em 15/08/2008.

- [Tri06] K.S. Trivedi. Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications. John Wiley and Sons, 2nd Edition, 2006.
- [WP06] H. Wang and H. Pham. Reliability and Optimal Maintenance. Springer Verlag, 2006.
- [ZK07] A. Zimmermann and M. Knoke. A Software Tool the Performability Evaluation with Stochastic and Colored Petri Nets. Technische Universitt Berlin. Real-Time Systems and Robotics Group, 2007.

