



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**Escola de Engenharia**

**Departamento de Engenharia de Produção**



**Luiz Carlos Nogueira Júnior**

**METODOLOGIA PARA  
A SELEÇÃO DE TÉCNICAS  
DE PESQUISA OPERACIONAL  
NA ÁREA DE SAÚDE**

**Belo Horizonte**

**2015**

**Luiz Carlos Nogueira Júnior**

**METODOLOGIA PARA  
A SELEÇÃO DE TÉCNICAS  
DE PESQUISA OPERACIONAL  
NA ÁREA DE SAÚDE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Otimização de Sistemas Logísticos e de Grande Porte.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto.

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Leise Kelli de Oliveira.

**Belo Horizonte  
Escola de Engenharia - UFMG  
2015**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da existência.

Ao orientador, Professor Dr. Luiz Ricardo Pinto, pelas valiosas orientações e suporte nas horas mais complicadas, sempre com uma palavra amiga e sensata.

À coorientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Leise Kelli de Oliveira, pelo acompanhamento do trabalho, pelos grandes conselhos e por sua disponibilidade sempre generosa.

Aos professores e demais funcionários do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em especial aos Professores Doutores Ricardo Saraiva de Camargo e Lin Chih Cheng, pelas importantes ponderações e ensinamentos desde o início do mestrado.

Agradeço em especial aos meus pais, Luiz Carlos Nogueira e Ana Lúcia Janoni Nogueira, minhas maiores referências de amor, caráter e sabedoria.

A Paloma Freitas Araújo, pelo amor, carinho, respeito e parceria incondicional nestes últimos 12 anos.

A Vívian Lúcia Nogueira e Isabela Janoni, pelo amor e carinho sempre por perto.

Aos amigos e familiares tão queridos que estiveram sempre próximos e atentos nessa caminhada.

Aos amigos de caminhada Bárbara Pinto, Celso Souza, Elisangela Martins, Karolliny Santos, Rejane Corrêa, Rivert Oliveira, Pedro Silva, Wanderson Leite e tantos outros que dividiram e tanto contribuíram para a concretização deste projeto.

Aos colegas do Instituto Federal Minas Gerais (IFMG) *Campus* Ribeirão das Neves, ressaltando meu agradecimento ao diretor geral João Bosco de Oliveira Perdigão pela disponibilidade, à professora Jaqueline das Graças Moura Oliveira pela amizade e a Listhiane Ribeiro por me apresentar à epígrafe citada nesse trabalho.

Aos professores e colegas de profissão, Luiz Filipe Trivelato, Lauro Soares de Freitas, Leonel Del Rey de Melo Filho e Marcelo Alvim Scianni, por encorajarem a busca deste sonho desde a graduação.

Aos colegas do Centro Universitário Metodista Isabela Hendrix que acompanharam o início da jornada.

"Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas,  
mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana".

Carl Jung.

## RESUMO

Os sistemas de atendimento à saúde têm papel estratégico para manutenção do bem-estar social. Seja na esfera pública ou privada, há contínua preocupação em manter as diversas áreas de atendimento funcionando com qualidade, disponibilidade, com custo adequado, entre outros. Historicamente, desde a década de 1960, estudos de Pesquisa Operacional (PO) são aplicados nas diversas áreas da saúde, buscando melhorar os níveis de produtividade e eficiência, reduzindo custos, melhorando a utilização de recursos humanos e materiais. Ocorre que nem sempre esses estudos, modelagens e implementações realizados pelos especialistas em PO são bem recebidos, entendidos ou implementados pelos gestores, analistas e técnicos da área de saúde. Neste estudo, a revisão bibliográfica confirma esse problema, bem como identifica algumas das áreas mais críticas nos sistemas de saúde e os problemas mais recorrentes. Como contribuição, neste trabalho é apresentada uma metodologia que pretende nortear as partes interessadas na resolução de problemas em sistemas de saúde. A principal contribuição da proposta consiste em incluir o profissional da área de saúde no processo de tomada de decisão, buscando em conjunto com os especialistas em Pesquisa Operacional melhorar o nível de desempenho do serviço de saúde prestado. No final do trabalho é realizada análise sobre as proposições e contribuições deste estudo, bem como da perspectiva de desenvolvimentos e desdobramentos futuros. Por fim, uma implementação é realizada tomando-se como base o Sistema Médico de Emergência (SAMU) de uma grande metrópole brasileira, considerando parâmetros reais do sistema e um banco de dados consistente. O problema de localização de bases e alocação de ambulâncias é resolvido com um modelo de otimização para localização de facilidades e os cenários propostos são testados em uma modelagem via simulação à eventos discretos. Os resultados são demonstrados e discussão é realizada.

Palavras-chave: Sistemas de Saúde. Problemas em Sistemas de Saúde. Técnicas de Pesquisa Operacional. Metodologia para resolução de problemas.

## **ABSTRACT**

Systems for Health Assistance play a strategic role in the maintenance of social welfare. Whether in public or private sphere, there is an ongoing concern to keep the numerous areas of service working with quality, availability, appropriate cost, etc. Historically, since the 1960s, studies of Operational Research (OR) are applied in the many areas of Healthcare, seeking to improve levels of productivity and efficiency, reducing costs, improving the utilization of human and material resources. It turns out that not always these studies, models and implementations made by OR experts are well received, understood or implemented by managers, analysts and technicians of Healthcare. In this study, a broad literature review confirms this problem and identifies some of the most critical areas in healthcare systems and the most recurring problems. As an input, this paper present a methodology intended to guide participants in problem solving in Health Systems. The main role of the proposal is to include the professional of the healthcare area in the decision making process, seeking, together with experts in Operational Research, to improve the performance level of the Health Service provided. At the end of the paper is an analysis of the proposals and contributions of this study as well as the perspective of developments and future changes. An implementation is performed, based on an Emergency Medical System (EMS) in a large Brazilian capital, considering actual parameters of the system and a consistent database. The bases and ambulances location problem is solved with an optimization model for Facilities Location and the proposed scenarios are tested in a modeling through a Discrete Event Simulation. The results are shown and a discussion is held.

**Key words:** Healthcare. Healthcare Problems. Operational Research Approach. Methodology for problem solving.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	<i>Activity-based cost</i>
AED	Análise Envolvória de Dados
ATS	<i>American Thoracic Societ</i>
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CTAS	<i>Canadian Triage &amp; Acuity Scale</i>
DS	Dinâmica de Sistemas
ESI	<i>Emergency Severity Index</i>
EUA	Estados Unidos da América
FIFO	<i>First in ó first out</i>
HIV	<i>Human imunodeficiency virus</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFMG	Instituto Federal Minas Gerais
INAMPS	Instituto Nacional de Assistência Médica da Previdência Social
LIFO	<i>Last in ó first out</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
NAACSOS	<i>North American Association for Computational Social and Organizational Sciences</i>
NJHA	<i>New Jersey Hospital Association</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	<i>Organización Panamericana de la Salud</i>
PEPS	Primeiro que entra ó primeiro que sai
PIB	Produto Interno Bruto
PO	Pesquisa Operacional
PRODABEL	Empresa de Informática e Informação de Belo Horizonte S/A.
RPM	Frequência respiratória, pulso e resposta motora
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SBA	Simulação Baseada em Agentes
SD	<i>System Dynamics</i>
SED	Simulação à Eventos Discretos
SIDA	Síndrome da imunodeficiência adquirida
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SME	Sistema Médico de Emergência
STM	Sistema de Triagem de Manchester
SUS	Sistema Único de Saúde
TCU	Tribunal de Contas da União
UCLA	Universidade da Califórnia - Los Angeles
UEPS	Último que entra ó primeiro que sai
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UPA	Unidade de Pronto-Atendimento
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
WHS	World Health Statistics
WSC	Winter Simulation Conference

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OCORRÊNCIAS DE PUBLICAÇÃO POR ANO RELACIONADAS À ÁREA DE SAÚDE - 1969 A 2014.....	18
FIGURA 2 - OCORRÊNCIAS DE PUBLICAÇÃO POR DÉCADA.....	19
FIGURA 3 - DETALHAMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	47
FIGURA 4 - OCORRÊNCIAS POR GRANDES ÁREAS EM SISTEMAS DE SAÚDE.....	52
FIGURA 5 - OCORRÊNCIAS POR PROBLEMAS EM SAÚDE AO LONGO DO TEMPO.....	53
FIGURA 6 - FLUXO DO PROCESSO DE RESGATE.....	61
FIGURA 7 - QUANDO UTILIZAR A SIMULAÇÃO?.....	65
FIGURA 8 - MÉTODO GERAL DA SIMULAÇÃO.....	67
FIGURA 9 - METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO.....	68
FIGURA 10 - SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES.....	71
FIGURA 11 - O PROCESSO DE SIMULAÇÃO E MODELAGEM BASEADA EM AGENTE.....	73
FIGURA 12 - O PROCESSO INTERATIVO DA MODELAGEM.....	78
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA COM FILAS.....	81
FIGURA 14 - ETAPAS PARA OPERACIONALIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS PROPOSTA.....	91
FIGURA 15 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DAS BASES DE OPERAÇÃO E ALOCAÇÃO DAS AMBULÂNCIAS.....	93
FIGURA 16 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA O PROBLEMA DE TEMPO DE ESPERA ELEVADO EM HOSPITAIS, UNIDADES DE SAÚDE E CLÍNICAS.....	99
FIGURA 17 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA O PROBLEMA DE INEFICIÊNCIA NA TRIAGEM EM DEPARTAMENTO DE EMERGÊNCIA.....	104
FIGURA 18 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA PROBLEMA DE CUSTOS ELEVADOS OU ACIMA DA META EM SISTEMAS DE SAÚDE.....	110
FIGURA 19 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA PROBLEMA DE DIMENSIONAMENTO DE RECURSOS EM UNIDADES DE SAÚDE.....	114
FIGURA 20 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA PROBLEMA DE LAYOUT/ARRANJO FÍSICO GERANDO PERDA DE EFICIÊNCIA EM HOSPITAIS E UNIDADES DE SAÚDE.....	119
FIGURA 21 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA PROBLEMA DE GESTÃO DE MEDICAMENTOS DE FARMÁCIA HOSPITALAR.....	123
FIGURA 22 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA PROBLEMA DE TEMPO DE ESPERA EM FILAS DE TRANSPLANTE.....	127
FIGURA 23 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA PROBLEMA DE PROLIFERAÇÃO DE EPIDEMIAS E PANDEMIAS.....	131

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 ó RESUMO DOS PRINCIPAIS TRABALHOS IDENTIFICADOS.....	43
QUADRO 2 ó SUMÁRIO DOS MODELOS DETERMINÍSTICOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS.....	88
QUADRO 3 ó SUMÁRIO DOS MODELOS PROBABILÍSTICOS.....	89

# SUMÁRIO<sup>1</sup>

1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Contextualização e tema de pesquisa .....	17
1.2 Objetivos .....	20
1.2.1 Geral .....	20
1.2.2 Específicos .....	20
1.3 Justificativa e contribuições do estudo .....	20
1.4 Estrutura da tese .....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	25
2.1 Introdução .....	25
2.2 Alguns dados gerais relevantes sobre a área da Saúde .....	20
2.3 O perfil da mão de obra em Sistemas de Saúde .....	20
2.4 Uma abordagem inicial sobre a resolução de problemas no contexto da Saúde .....	29
2.4 As técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas no contexto da Saúde .....	33
3 CONSTRUÇÃO DA METODOLOGIA .....	45
3.1 Introdução .....	45
3.2 Detalhamento da metodologia proposta .....	47
4 SISTEMAS DE SAÚDE .....	51
4.1 Delimitação do escopo das áreas da saúde selecionadas neste estudo .....	51
4.2 Algumas informações e definições importantes para este estudo .....	53
4.2.1 Um breve relato histórico do sistema de saúde no Brasil. ....	53
4.2.2 Classificação dos serviços de atendimento à população .....	55
4.2.3 Serviços de emergência .....	55
4.2.4 Política Nacional de Atenção às Urgências .....	56
4.2.5 Hospitais e algumas áreas e processos estratégicos .....	56
4.2.6 Sistema médico de emergência .....	59

---

<sup>1</sup> Este trabalho foi revisado de acordo com as novas regras ortográficas aprovadas pelo Acordo Ortográfico assinado entre os países que integram a Comunidade de Países de Língua Portuguesa (CPLP), em vigor no Brasil desde 2009. E foi formatado de acordo com a ABNT NBR 14724 de 17.04.2011.

5 AS TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL APLICADAS NESTE ESTUDO .....	62
5.1 As técnicas de simulação abordadas neste estudo .....	63
5.1.1 O processo de tomada de decisão.....	64
5.1.2 Definição e componentes de um sistema.....	65
5.1.3 Definição de modelo.....	66
5.1.4 Método geral de simulação .....	66
5.1.5 Simulação à eventos discretos.....	67
5.1.6 Simulação baseada em agentes .....	70
5.1.7 Dinâmica de sistemas .....	75
5.2 As técnicas determinísticas abordadas neste estudo .....	80
5.2.1 Teoria das filas .....	80
5.2.2 Localização de facilidades .....	84
6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PO EM PROBLEMAS NA ÁREA DE SAÚDE .....	91
6.1 Problema de localização de bases de operação e alocação de ambulâncias.....	92
6.1.1 Detalhamento das etapas propostas.....	94
6.1.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	96
6.2 Problema de tempo de espera em hospitais, unidades de saúde e clínicas.....	98
6.2.1 Detalhamento das etapas propostas .....	99
6.2.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	101
6.3 Ineficiência do processo de triagem em departamento de emergência .....	103
6.3.1 Detalhamento das etapas propostas.....	104
6.3.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico .....	106
6.4 Problema de custos elevados ou acima da meta em sistemas de saúde .....	109
6.4.1 Detalhamento das etapas propostas.....	110
6.4.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	112
6.5 Problema de dimensionamento de recursos em unidades de saúde .....	113
6.5.1 Detalhamento das etapas propostas.....	114

6.5.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico .....	116
6.6 Problema de <i>layout</i> /arranjo físico gerando perda de eficiência em hospitais e unidades de saúde .....	118
6.6.1 Detalhamento das etapas propostas.....	119
6.6.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	121
6.7 Problema de ineficiência da gestão de medicamentos da farmácia hospitalar .....	122
6.7.1 Detalhamento das etapas propostas.....	123
6.7.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	125
6.8 Problema de tempo de espera elevado em filas de transplante.....	126
6.8.1 Detalhamento das etapas propostas.....	127
6.8.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	128
6.9 Problema de proliferação de epidemias e pandemias.....	130
6.9.1 Detalhamento das etapas propostas.....	131
6.9.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico.....	133
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESDOBRAMENTOS FUTUROS.....	135
APÊNDICE .....	135
REFERÊNCIAS.....	166

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização e tema de pesquisa

O desenvolvimento do sistema brasileiro de saúde pode ser dividido em fascículos históricos. De acordo com Paim *et al.* (2011), desde o Colonialismo Português (iniciado em 1500), passando pelo Império até a República Velha (terminada em 1930), os principais desafios na área da saúde estavam relacionados a doenças pestilenciais (como exemplos, a febre amarela, varíola e peste) e doenças de massa (tais como tuberculose, sífilis e endemias rurais).

Somente a partir da década de 1940 começou a surgir no Brasil a preocupação com doenças conhecidas como *õmodernasõ*, como, por exemplo, doenças crônicas degenerativas, acidentes de trabalho e de trânsito. Nos últimos anos, o panorama de desafios na área de saúde ampliou-se e tornou-se mais complexo. Estão presentes, hoje, epidemias de cólera, dengue, mortes por causa externa (sobretudo homicídios e acidentes de trânsito), doenças cardiovasculares (principal causa de morte) e cânceres (PAIM *et al.*, 2011).

Mundialmente, os países enfrentam diferentes desafios na estruturação de seus sistemas de saúde, seja na esfera pública ou privada. Em se tratando de cuidados à saúde humana, diversos modelos e políticas são utilizados para a busca contínua por serviços de excelência e que, principalmente, contribuam para o aumento do bem-estar das pessoas (BERNET; ROSKO; VALDMANIS, 2008).

De acordo com o Relatório Mundial de Saúde da *World Health Organization* (WHO, 2010), a saúde está entre as maiores prioridades, ficando atrás apenas das preocupações econômicas (tais como desemprego, baixos salários e alto custo de vida). Ainda, de acordo com a Resolução nº 58.33, da Assembleia Mundial da Saúde de 2005, todos devem ter acesso à saúde, sem a necessidade direta de haver sacrifícios ou investimentos financeiros pessoais (WHO, 2010).

No que tange estudos científicos nas áreas da saúde, ao analisar as publicações de um dos maiores congressos mundiais na área de pesquisa operacional (com ênfase em simulação) denominado *Winter Simulation Conference*, é possível observar tendência a crescimento no número de publicações científicas aplicadas. Na FIG. 1, é possível observar que o número de publicações tem significativo aumento nos últimos 10 anos,

principalmente como se toma referência as décadas entre 1960 e 2000 . Esse fato se confirma, quando compara-se a taxa de publicações totais ao longo dos anos, que crescem de forma mais uniforme.

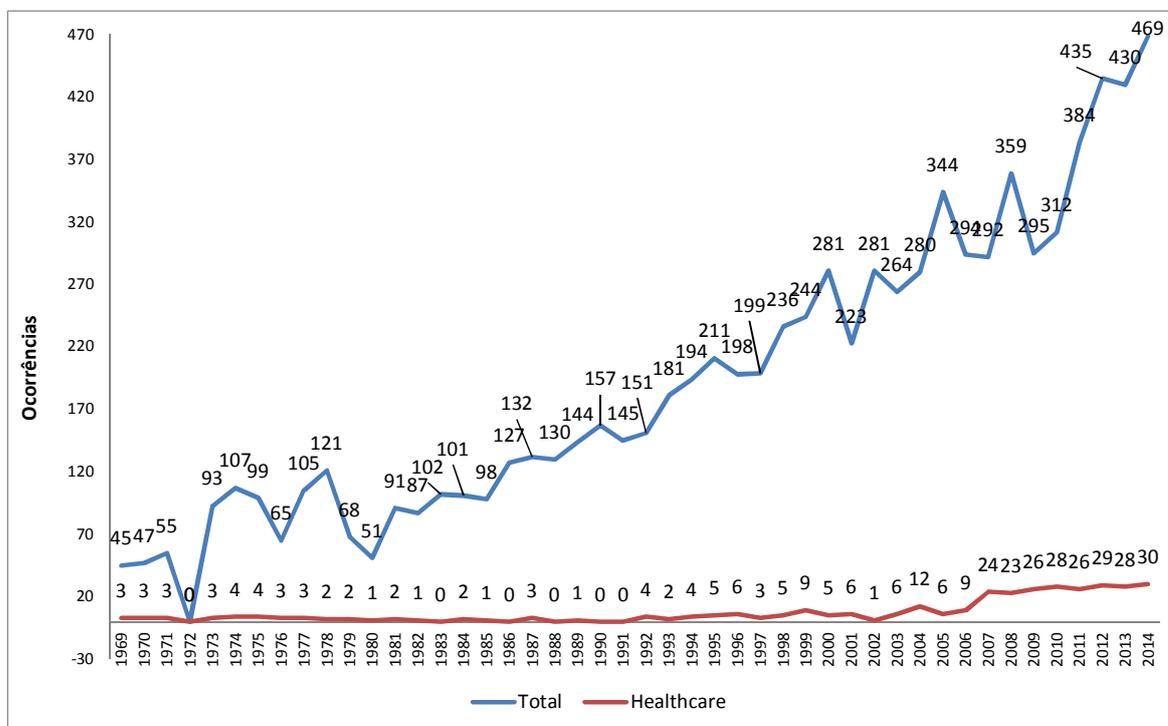


FIGURA 1 - Ocorrências de publicação por ano relacionadas à área de saúde - 1969 a 2014

Fonte: *Winter Simulation Conference website*.

Ainda analisando as publicações do *Winter Simulation Conference*, quando se sumarizam as publicações relacionadas à saúde por década, fica ainda mais evidente o número crescente de publicações e, por sua vez, o interesse nesse campo de pesquisa. Na FIG. 2 verificasse que o número de artigos publicados tem tendência a crescimento acentuado à medida que caminha para os dias atuais. É interessante salientar que entre os anos de 2010 e 2014 já foram publicados mais estudos que durante toda a década anterior (2000 a 2009). Quando sumariza-se por década, também fica evidente o crescimento bastante uniforme de publicações no congresso, e somente a partir do ano 2000 é possível verificar um crescimento incremental nas publicações em *Healthcare*.

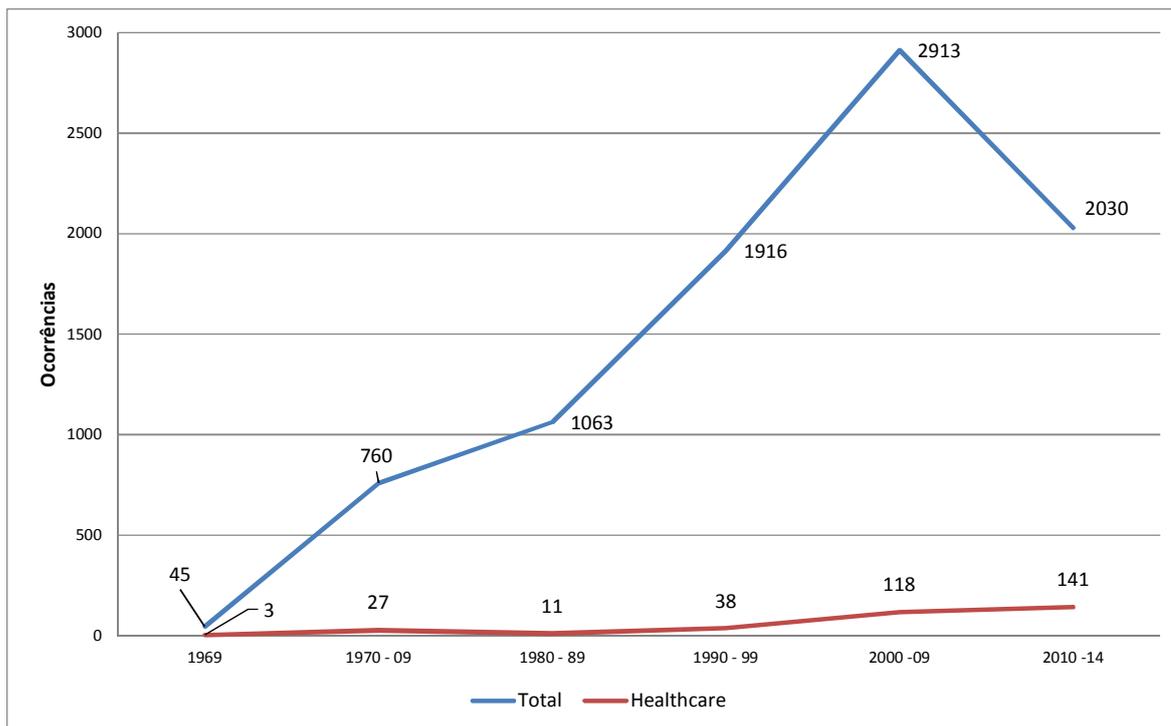


FIGURA 2 - Ocorrências de publicação por década

Fonte: *Winter Simulation Conference website*.

Buscando atender tanto às imposições legais quanto à necessidade do ser humano de ter atendimento de saúde, as instituições procuram continuamente aprimorar seu desempenho. Acontece que nem sempre essa busca por melhoria vem acompanhada de profissionalização e uso de ferramentas de gestão apropriadas (LA FORGIA; COUTTOLENC, 2009).

Pesquisa solicitada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e realizada pelo Ministério da Saúde em 14 estados da Federação Brasileira revelou nível incipiente de gestão e uso de técnicas para resolução de problemas, com instrumentos e práticas defasados quando comparado a outros segmentos (REIS, 2004).

De acordo com La Forgia e Couttolenc (2009), desde a década de 1980 as políticas de saúde no Brasil vêm sendo estruturadas na busca por mais eficiência na prestação do serviço. A ausência de mecanismos estruturados para medir e melhorar o desempenho e, ainda, a escassez de informações confiáveis tornam o desafio de melhorias nos serviços de saúde ainda maiores (BERNET; ROSKO; VALDMANIS, 2008; BOTELHO, 2006; RAIMUNDINI *et al.*, 2004).

A partir de diversas questões, o problema de pesquisa explorado neste estudo consistirá na identificação e análise de problemas (tais como: filas de espera, falta de

recursos humanos e materiais, custos elevados) verificados em hospitais, unidades de atendimento, serviço de atendimento móvel de urgência, entre outros, acarretando, dentre outros problemas, baixo desempenho do serviço prestado nos sistemas de saúde.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Geral**

Oferecer aos gestores, analistas e técnicos que atuam na área de saúde um método para orientar a solução/mitigação de problemas críticos em sistemas de saúde e, por consequência, melhorar o desempenho de áreas-chave, via utilização de técnicas de pesquisa operacional, particularmente a simulação.

### **1.2.2 Específicos**

- a) Identificar áreas relevantes em sistemas de saúde com campo para melhoria de desempenho.
- b) Sinalizar, entre um número diversificado, as técnicas e métodos de pesquisa operacional que possam ser utilizados para resolver problemas em sistemas de saúde.
- c) Identificar dados de entrada (*inputs*) importantes para análise de problemas em áreas da saúde.
- d) Listar indicadores (*outputs*) importantes para análise da solução de problemas em áreas da saúde.
- e) Indicar os recursos necessários (humanos e materiais) para resolução de problemas em sistemas de saúde.

## **1.3 Justificativa e contribuições do estudo**

As aplicações de pesquisa operacional em saúde remontam à década de 1960, com registro de publicações acadêmicas muito recorrentes de países como Estados Unidos e Inglaterra (BRAILSFORD *et al.*, 2009a).

As técnicas de simulação, por exemplo, são muito úteis para auxiliar o processo de tomada de decisão de programação, planejamento de capacidade, orçamento e finanças em

sistemas de saúde, mas ainda assim não são tão largamente utilizadas ou, quando são, apresentam limitações para implementação no mundo real (BRAILSFORD, 2007; BRAILSFORD *et al.*, 2009b; KULJIS; PAUL, 2007; LOWERY, 1994; PIDD, 2012; SANCHEZ *et al.*, 2000).

De acordo com Lowery (1994), existem algumas barreiras a serem vencidas no uso de métodos de pesquisa operacional nos sistemas de saúde, podendo-se destacar a resistência natural (por parte de alguns profissionais da saúde) em utilizar alguma técnica não familiar (com uso de ferramental matemático e computacional mais avançado, por exemplo). Esse problema acaba distanciando quem opera o sistema (médicos, enfermeiros, técnicos de saúde) dos analistas de pesquisa operacional que desenvolvem as modelagens, dificultando ainda mais o já complexo processo de resolução de problemas nas áreas da saúde.

Em estudo aplicado, Hermans, Sluijs e Aartsen (1998) utilizaram simulação com representação de modelos animados para demonstrar visualmente aos funcionários envolvidos no estudo o impacto de mudanças relativamente complexas. Neste estudo foi possível verificar que o uso desse ferramental facilitou a transmissão de grande volume de informações em curto intervalo de tempo para profissionais participantes.

Brailsford *et al.* (2009b) apresentam, em artigo, uma proposta construída coletivamente envolvendo cinco universidades britânicas, denominada *Right*. Com o método criado, os pesquisadores buscaram listar uma série de técnicas de modelagem conceitual, matemática ou de simulação e, ainda, o grau de complexidade de cada uma, além de informar o impacto de algumas dimensões no processo de implementação (tais como: recurso financeiro necessário, base de dados requerida, qualificação dos recursos humanos envolvidos, entre outros).

Além do uso cada vez mais intenso de técnicas robustas (determinísticas e/ou probabilísticas) para solução de problemas, há também a necessidade de conciliar, em alguns casos, mais de uma técnica para se obter os resultados necessários, utilizando de forma integrada técnicas de otimização, simulação, entre outras (DJANATLIEV; GERMAN, 2013; PIDD, 2012).

O uso de técnicas adequadas, de acordo com Gunal e Pidd (2006) e Gonsalves e Itoh (2009), está relacionado ao envolvimento das equipes de trabalho no processo de construção das soluções. Além de integrar os grupos de trabalho, também irão favorecer o conhecimento do processo em profundidade, melhorando a qualidade do resultado (BOWERS; GHATTAS; MOULD, 2009).

Demanda por melhorias de desempenho em sistemas médicos é algo bastante latente. As principais contribuições deste estudo estão no campo de oferecer aos profissionais que atuam nos sistemas médicos um conjunto de subsídios fortemente embasados em estudos acadêmicos relevantes, norteados pela utilização de técnicas de pesquisa operacional (PO), para solução de problemas em algumas das principais áreas da saúde.

Esse conjunto de subsídios, relatado anteriormente, consiste em propor uma metodologia para direcionar a escolha de técnicas de PO mais adequadas na solução de determinados problemas, mais comumente encontrados na área de saúde e que podem ser resolvidos com a utilização de tais técnicas.

A metodologia foi construída a partir de uma pesquisa bibliográfica, inicialmente em diversas revistas, congressos e publicações de relevância internacional e nacional. Posteriormente, buscando refinar a busca pelos problemas mais recorrentes nas áreas de saúde, além das técnicas de resolução mais adequadas e ainda na busca de aplicações bem sucedidas, uma análise das publicações do *Winter Simulation Conference* (WSC) foi realizada no período entre 1969 e 2013.

É importante ressaltar que o recorte realizado, principalmente na escolha de um único congresso (WSC), justifica-se principalmente pela característica aplicada das publicações, o que contribui decisivamente na construção de um método que utilize técnicas de Pesquisa Operacional, especialmente a Simulação, para resolução de problemas na área de Saúde.

Outra justificativa para escolha do WSC, está relacionado a credibilidade e abrangência desse congresso. Seu banco de artigos, aplicados nas diversas áreas da Saúde, é extenso (com mais de 40 anos de publicações) e ainda com reconhecida qualidade e relevância.

Esta proposta tem a pretensão de apresentar aos profissionais (independentemente do nível de conhecimento de métodos computacionais ou matemáticos) quais subsídios, técnicas e informações são necessários para resolver problemas em sistemas médicos. Traz, assim, uma contribuição concreta para diminuir a dificuldade da utilização de técnicas de natureza quantitativa nesse campo.

Espera-se também que o produto deste estudo possa ser uma interface amigável, construtiva e colaborativa entre os profissionais da saúde e os especialistas em PO, envolvendo o uso de técnicas determinísticas e probabilísticas, em alguns momentos de forma independente e em outros de forma integrada.

Outra contribuição esperada é que esta pesquisa permita acelerar, a partir da racionalização de esforços, o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa ou trabalhos aplicados de desenvolvimento nas áreas de saúde, incluindo o desenvolvimento de Sistemas Especialistas e Sistemas de Apoio à Decisão.

#### **1.4 Estrutura da tese**

A organização deste estudo se dá em sete capítulos, sendo o primeiro uma breve introdução contendo os motivadores, objetivos e estruturação. No capítulo 2, a partir da revisão da literatura em sistemas de saúde, é identificada a relevância de utilizar técnicas de PO, particularmente a simulação e outras técnicas a ela associadas, na resolução de problemas em sistemas de saúde.

No terceiro capítulo, a concepção da metodologia proposta foi apresentada. No capítulo 4, faz-se uma revisão sobre sistemas de saúde, seus principais conceitos e as principais áreas de aplicação deste estudo. No capítulo 5, as áreas da PO estudadas nesta tese são detalhadas. Para cada uma das cinco técnicas selecionadas (simulação à eventos discretos; simulação baseada em agentes (SBA); dinâmica de sistemas; teoria das filas; e localização de facilidades) foram descritos seu histórico, método, ferramentas computacionais e aplicações.

No capítulo 6 descreve-se a metodologia para indicação das técnicas mais adequadas de PO visando à solução de cada uma das nove classes de problemas identificadas, em que um conjunto de seis etapas foi estabelecido, sendo: a) identificação do problema; b) solução proposta; c) técnicas de solução; d) *inputs* necessários; e) variáveis de desempenho e, f) *outputs* gerados.

No capítulo 7 são discutidos os desdobramentos futuros do estudo realizado e as considerações finais são apresentadas versando sobre a efetividade do uso da metodologia proposta, contribuindo para a melhoria do nível de desempenho dos serviços médicos prestados.

Há ainda, no final desta tese um Apêndice que traz uma publicação que serviu como base fundamental para o aprimoramento da metodologia contruída. Neste artigo foi realizado um estudo de caso e a implementação do problema de localização das bases de operação e alocação das ambulâncias com base em um estudo real no Sistema Médico de Emergência (SAMU) da cidade de Belo Horizonte. Foi implementado, via modelo de localização de facilidades e de um modelo de simulação à eventos discretos (SED),

visando reduzir o tempo de resposta do serviço prestado. Diversos cenários foram testados e os resultados são apresentados e discutidos ao longo do capítulo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados alguns pontos fundamentais sobre a área de saúde no que diz respeito ao histórico da área, algumas estatísticas relevantes à caracterização dos problemas, as particularidades da mão-de-obra e ações governamentais e de empresas privadas que atuam no setor. Essas informações foram retiradas de publicações científicas relevantes de representatividade mundial e nacional, com o propósito de sinalizar as principais ações e tendências dessa área de pesquisa.

O objetivo principal desta introdução é mostrar a importância da área de saúde na administração pública e privada no Brasil e no mundo. Ao longo do texto serão destacados os diversos problemas encontrados e algumas das aplicações de PO visando à sua resolução.

### 2.2 Alguns dados gerais relevantes sobre a área da Saúde

Ao iniciar pesquisas nesse campo de estudo já é possível identificar que atuar com agilidade na melhoria dos serviços prestados na área da saúde é mais que uma meta (seja na esfera pública ou privada). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2008), o cidadão está cada vez mais impaciente perante a incapacidade dos prestadores de serviços de saúde em oferecer níveis mínimos de qualidade. Poucos discordam da ideia de que os sistemas de saúde precisam responder melhor e mais rapidamente aos desafios demandados.

Incrementar os investimentos na saúde é uma medida vital para financiar o acesso universal (para todos). Países com investimento *per capita* superior a \$2.500,00 dólares elevam a expectativa de vida da população para a casa dos 70 anos ou mais. Já em países com investimentos inferiores a \$100 dólares *per capita* e ainda com grande incidência de doenças graves (como o *human immunodeficiency virus*/ síndrome da imunodeficiência adquirida - HIV/SIDA) não chegam à expectativa de 40 anos de idade (WHO, 2008).

No Brasil, como também em uma série de países em desenvolvimento, percebe-se contínua elevação da expectativa de vida na população, evoluindo de 63 anos na década de 1990 para até 77 anos no ano de 2008 entre as pessoas do sexo feminino (WORLD

*HEALTH STATISTICS* - WHS, 2010). Quanto ao investimento *per capita* em saúde, o valor médio em 2008 foi de US\$ 317 dólares, o que ajuda a explicar a expectativa de vida não ser homogênea em todo o país (WHO, 2008).

Outro fator significativo é a disponibilidade de profissionais de saúde. Em países com melhores indicadores, tais como Estados Unidos e Canadá, existem em torno de quatro profissionais de enfermagem atuando para cada médico. Em países mais pobres (tais como Chile, El Salvador, Peru e México), o número médio de profissionais de enfermagem por médico é inferior a um (WHO, 2006).

Quando se analisa a força total de trabalho disponível, é possível verificar grandes disparidades entre regiões mais abastadas financeiramente quando comparadas aos locais mais pobres. Na África, por exemplo, de acordo com WHO (2006), existem cerca de 2,3 profissionais de saúde para cada 1.000 habitantes. Na Europa, esse número sobe para 18,9 e na América do Norte chega a 24,8 profissionais para cada mil habitantes.

O Brasil, em virtude do modelo de saúde pública implementado via Sistema Único de Saúde (SUS), tem a complexa missão de prestar desde atendimento ambulatorial até o transplante de órgãos, garantindo acesso integral, universal e gratuito para toda a população do país (BRASIL, 2010a).

Com base nos dados do Relatório Sistêmico de Fiscalização da Saúde realizado pelo Tribunal de Contas da União (TCU), o sistema de saúde brasileiro tem melhorado de forma significativa nos últimos anos e destaca o aumento da expectativa de vida, a redução de indicadores de mortalidade, mais acesso aos serviços de saúde e o crescimento dos gastos públicos. Em contrapartida, o país tem como maior desafio diminuir a desigualdade nos serviços de saúde entre as regiões do país (BRASIL, 2014).

No Brasil, por exemplo, o número de leitos hospitalares ainda é bastante limitado. Para alguns estados do Norte e Nordeste do país (Amazonas, Amapá, Sergipe, Roraima, Tocantins, entre outros), o índice é inferior a dois leitos para cada grupo de 1.000 habitantes. Já nos estados do Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Distrito Federal e Goiás esse índice está na casa dos três leitos para cada grupo de mil brasileiros (BRASIL, 2013).

O número de leitos hospitalares em países considerados desenvolvidos economicamente pode chegar a quase 15, caso do Japão. Para países como Suíça, Luxemburgo, França, Áustria e Coréia esse número varia entre cinco e 10 leitos para cada 1.000 habitantes (BRASIL, 2013).

O Brasil tem índices semelhantes aos dos países desenvolvidos no que se refere à mortalidade por câncer e à execução de exames de prevenção (mamografia, por exemplo), tal como cobertura da população em programas de vacinação em massa (BRASIL, 2014).

Para equipamentos de diagnóstico, como mamógrafos, tomógrafos computadorizados e equipamentos de ressonância magnética, a disponibilidade discrepante entre as diferentes regiões do país é novamente observada. Nos estados com maior disponibilidade, o número de equipamentos de mamografia passa de 30 unidades para cada 1 milhão de habitantes. Em estados como Roraima, Amapá e Amazonas esse número é inferior a 10 unidades. No caso de tomógrafos e equipamentos de ressonância magnética, discrepância similar é verificada (BRASIL, 2013).

Em relação à ocupação dos leitos de emergência, pesquisa revelou que em 83% das vezes a taxa de ocupação é superior a 100%. Quanto à ocupação de pacientes em corredores, 47% dos gestores afirmaram que muitas vezes ou sempre há essa situação em sua unidade ó 14% muitas vezes e 33% sempre (BRASIL, 2014).

Uma das possíveis causas para a superlotação das emergências reside na dificuldade de acesso da população às consultas ambulatoriais com especialistas, exames de diagnóstico e cirurgias eletivas. Além disso, segundo o Relatório sistêmico de fiscalização da saúde, disponível em Brasil (2014), o programa conhecido como Saúde da Família, uma alternativa para reduzir a superlotação em unidades hospitalares, ainda não é suficientemente abrangente nas maiores cidades do país.

Outro fator agravante para o atendimento de emergências está na redução no número de leitos oferecidos na rede SUS. Em 2010, a soma de leitos SUS de internação era de 359.968, já em 2013 o número de leitos caiu para 348.392. Entre 2010 e 2013, houve redução de 11.576 leitos (3%) de todas as especialidades de internação (cirúrgicos, clínicos, obstétricos, pediátricos e outras), com exceção dos leitos localizados em hospitais dia (BRASIL, 2014).

Outros pontos constatados no relatório do TCU chamam a atenção para problemas em relação à falta de medicamentos e insumos, falta de contratos de manutenção de equipamentos de alto custo, cumprimento das normas de controle de infecção pelos profissionais, entre outros aspectos (BRASIL, 2014).

É importante observar que, em países em desenvolvimento, como exemplo o Brasil, a população de idosos (pessoas com 60 anos ou mais) cresceu de maneira considerável nas últimas décadas e a previsão para as próximas também é de crescimento. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), na década de

2010 o percentual de idosos ficou na casa de 10% em comparação à população total. Estima-se que nas décadas seguintes, respectivamente, 2020, 2030, 2040, 2050, o percentual será de 13,7, 18,7, 23,8 e 29,8%.

Se confirmada a expectativa, cerca de um terço da população brasileira será formada por idosos na década de 2050 e, para isso, as políticas de saúde terão que se adaptar e prever condições para atender esse público, o que demandará especialidades médicas e atendimento diferenciado (IBGE, 2009).

Além da questão etária das populações (o envelhecimento, por exemplo), outro fator que impacta fortemente nos atendimentos dos sistemas de saúde está relacionado ou é decorrente dos acidentes de trânsito. De acordo com o relatório Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras, em Brasil (2004), em torno de dois terços dos acidentes na cidade brasileira de São Paulo envolvem carros e motocicletas, tendo, em média, 17% das vítimas internadas e 2% chegam a óbito, em decorrência direta do acidente.

Os custos associados ao atendimento de saúde para os envolvidos em acidentes de trânsito são muito significativos. Destacam-se principalmente os casos mais graves, em que há necessidade de internamento. O custo médio por paciente atendido pode variar de US\$ 647,00 a US\$ 101.386,00 (BRASIL, 2004).

### **2.3 O perfil da mão de obra em Sistemas de Saúde**

A área de saúde tem também por característica marcante o intenso uso de mão-de-obra, responsável por administrar todo o aparato de equipamentos, de medicamentos e ainda lidar com o contínuo desenvolvimento tecnológico. No Brasil, o SUS concentra aproximadamente 52% de seus recursos com pagamento de pessoal, empregando mais de 1,4 milhão de profissionais (GARCIA, 2010).

No relatório apresentado pelo TCU, em Brasil (2014), segundo os gestores entrevistados, a disponibilidade de mão-de-obra frente à demanda existente é suficiente em apenas 14% dos casos. Em 35% a quantidade de profissionais está muito abaixo do necessário e um pouco abaixo do necessário para 46% dos casos.

Por ser um fator crítico e estratégico na atenção à saúde, os profissionais que nela atuam precisam ser selecionados de forma muito criteriosa. Para Garcia (2010), o Departamento de Recursos Humanos tem papel essencial para o alcance de metas de saúde e é tema central na agenda de desenvolvimento dos serviços de saúde.

Santana (1999, p. 391) afirma:

As questões relativas a recursos humanos representam um componente crítico para o delineamento de novos paradigmas gerenciais para os serviços de saúde, em especial na área pública. [...] Contudo, medidas concretas e eficazes dificilmente são operacionalizadas, seja por falta ou timidez das decisões políticas, seja porque os esquemas tradicionais não correspondem à complexidade e ao dinamismo dos problemas vigentes.

A atuação adequada dos gestores nas áreas da saúde passa, sem dúvida alguma, por um processo de formação acadêmica formal. O desafio, portanto, está na necessidade de desenvolver novas competências e especialistas de fato, para gerir os complexos e dinâmicos problemas que ocorrem em hospitais, centros de atendimento, clínicas, serviços de resgate e afins (PIERANTONI, 2003).

Pierantoni (2003) ressalta que a formação para os profissionais de gestão na saúde deve ser continuada, caminhando, de acordo com as especificidades de cada área, para a realização de especializações na modalidade *lato sensu* (como exemplo cita-se o curso de administração hospitalar), como também na modalidade *stricto sensu* (sob a forma de programas de mestrado e doutorado na área de gestão de sistemas de saúde).

## **2.4 Uma abordagem inicial sobre a resolução de problemas no contexto da Saúde**

Uma das características marcantes de um gestor e/ou analista em sistemas de saúde bem formado passa pela adequada escolha de métodos e técnicas para resolução de problemas. Para Turato (2005), as abordagens mais humanísticas, que abordam narrativas, percepções e vivências são exemplos da abordagem qualitativa. Para estudos com objetivos de verificar tipos, padrões, traços, efeitos, entre outros, a abordagem quantitativa é mais utilizada.

Ainda segundo Turato (2005), para vários problemas da área de saúde (principalmente os de média e grande complexidade), somente com a utilização de ambas abordagens (qualitativa e quantitativa), conciliando as técnicas e métodos, consegue-se resultados significativos.

A resolução de problemas diversos e de complexidade significativa são uma rotina diária percebida pelos profissionais que atuam nesse setor. Buscar, portanto, mecanismos para resolver esses problemas é uma demanda contínua (VIACAVA *et al.*, 2004).

Em outros contextos, várias áreas da Engenharia, tais como bélica, naval e industrial, usam de forma intensa, desde a década de 1940, as técnicas de PO para buscar aumento de eficiência, redução de custos, otimização de recursos, entre outros. Na área de saúde, entretanto, essa utilização é menos verificada (BALDWIN; ELDABI; PAUL, 2004).

De acordo com Baldwin, Eldabi e Paul (2004), uma das formas de aumentar a utilização de técnicas de PO em sistemas de saúde ocorrerá a partir do envolvimento dos especialistas em saúde na concepção, na problematização e no desenvolvimento dos estudos.

Em virtude da constante necessidade de resolver problemas, técnicas de PO têm contribuído de maneira significativa em estudos de alocação, dimensionamento e redimensionamento de recursos, fluxo de pacientes, estudos de demandas, entre outros (VALENÇA, 2011). Aplicações de PO são verificadas, principalmente, em sistemas de saúde desde as décadas da segunda metade do século XX (ALTINEL; ULAS, 1996; BURTON *et al.*, 1978; CLAYDEN, 1977; DESHAIES; SEIDMAN, 1971; LADANY; TURBAN, 1978; WILLCOCKS; MARK, 1989; WILSON, 1981).

O uso das técnicas de pesquisa operacional para resolver problemas nas diversas áreas da saúde ajuda no melhor entendimento dos processos, aprofundando o nível de conhecimento dos analistas e especialistas envolvidos. Essa sistemática funciona como importante alternativa no processo de aquisição de conhecimento, que segundo Buchanan, Barstow e Bechtel (1983) pode ser definido como a transferência e transformação do conhecimento especializado, com potencial para a resolução de problemas de alguma fonte de conhecimento para um programa.

A aquisição de conhecimento pode ser definida como um processo de modelagem de problemas e soluções pertinentes a tarefas em um domínio específico (REZENDE, 2003). Em sistemas de saúde, em virtude da complexidade inerente da área, é possível identificar um conjunto de técnicas qualitativas e quantitativas para solucionar os problemas, gerando significativo conjunto de soluções possíveis.

Na literatura pesquisada, não foi identificado direcionamento sobre quais áreas em sistemas médicos são mais ou menos negligenciadas. Brailsford *et al.* (2009a) analisaram publicações para verificar que tipos de estudos e áreas estão sendo abordados pelos pesquisadores da área de PO com aplicação em saúde. No total, foram analisadas 342 publicações, 82% delas publicadas a partir da década de 1990. A maioria dos trabalhos (58%) utiliza como método principal a análise estatística ou modelagem estocástica.

Simulação foi observada em 56 publicações e modelagem matemática em 31, o que significa, respectivamente, 16 e 9% sobre o total de artigos (BRAILSFORD *et al.*, 2009b).

Ainda de acordo com Brailsford *et al.* (2009a), existem áreas de tecnologia em saúde e modelagem econômica que devem ser mais bem exploradas, gerando muito provavelmente resultados mais significativos. Os autores ainda consideram que a localidade da maioria das publicações (que estão nos Estados Unidos e Europa), o que limita generalizações para outros locais (América do Sul, África e Ásia, por exemplo).

Entre as técnicas de PO, a utilização de técnicas de simulação, particularmente SED, é muito recorrente. De acordo com Gunal e Pidd (2010), em uma busca pela técnica na Internet utilizando as palavras-chave *õpatientö*, *õhealthcareö* e *õhospitalö*, obtiveram quase três mil artigos sobre o tema entre os anos de 2000 e 2008.

Gunal e Pidd (2006) e Gonsalves e Itoh (2009) referem que há também um elemento formidável na utilização de modelos de simulação e otimização, que é o dessecamento do processo em estudo. As equipes envolvidas, além dos ganhos que o modelo e seus resultados trazem, ganham também profundo conhecimento processual, o que muitas vezes gera inúmeras melhorias ao sistema, culminando principalmente na *õsatisfação dos clientesö*.

Apesar da grande utilização, modelos de simulação são, antes de tudo, ferramentas que auxiliam no processo de tomada de decisão. Calibrar as expectativas dos clientes faz parte do processo de estudo em qualquer área, inclusive em sistemas médicos. Há sempre uma lacuna a ser preenchida entre o modelo proposto e a implantação real do sistema, que envolve principalmente o envolvimento das pessoas (BOWERS; GHATTAS; MOULD, 2009).

Atualmente, há aumento na utilização de modelagens via simulação em conjunto com abordagens analíticas. Os métodos estatísticos, por exemplo, são mais aplicados em áreas como finanças, política estratégica, governança e regulamentação. Já em áreas como planejamento e análise de recursos/sistema, são mais verificadas modelagens via simulação (BRAILSFORD *et al.*, 2009b).

Como sistemas médicos lidam com problemas de difícil solução, a modelagem via simulação precisa ser o mais consistente possível. Uma etapa fundamental no processo é a modelagem conceitual, que precisa ser a mais simplificada possível e ter, entre outros requisitos, validade, credibilidade, utilidade e viabilidade (ROBINSON, 2008a).

Além dos requisitos descritos, Robinson (2008b) propõe uma estrutura-padrão para a realização da modelagem conceitual em cinco atividades interativas: a) compreendendo a

situação-problema; b) determinando a modelagem e os objetivos gerais do projeto; c) identificando as saídas do modelo; d) identificando as entradas do modelo; e) determinando o conteúdo do modelo.

De acordo com Watson e Sprague (1991), o desenvolvimento computacional de aplicações, seja na área da saúde, como em diversas outras áreas, dependerá de três requisitos principais:

- a) Definição de um modelo que represente com fidelidade o sistema a ser modelado (sem nunca conseguir reproduzi-lo totalmente);
- b) coleta e tratamento dos dados de forma aderente ao modelo, sem perder a fidelidade ao sistema real;
- c) definição do formalismo computacional que irá, via modelagem e base de dados, apresentar resultados e cenários a serem avaliados.

No tocante ao levantamento de dados, pode-se dizer que é uma etapa de suma importância no desenvolvimento de qualquer estudo que envolva modelagem. Na área de saúde, o registro e o compartilhamento de dados são ainda mais importantes, principalmente quando se trata do desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão.

Em trabalho empírico, Klein (2007) realizou estudo para identificar o perfil comportamental de pacientes. O estudo estabeleceu uma plataforma eletrônica via *web* que permite ao paciente comunicar-se com seu médico e ainda verificar resultados de exames e informações sobre seu quadro geral. Fizeram parte do estudo 294 pacientes e foi possível verificar que a plataforma *web* contribui na relação entre paciente e médico, bem como no acesso à informação. A coleta de dados e posterior tratamento permitem um processo de tomada de decisão mais consistente, principalmente focado na prevenção (PARVIN; GOEL; GAUTAM, 2012).

Em outro estudo, Reardon e Davidson (2007) tratam da importância do esforço para registro e compartilhamento de informações na área médica, com o intuito de divulgar e permitir a troca de informações, aprendizados e boas práticas. Neste estudo, uma proposta para registro eletrônico médico é sugerida para, principalmente, permitir a troca de experiências entre pequenas unidades de saúde.

Ocorre que, para se ter adequado fluxo dessas informações, algumas etapas, tais como o levantamento de dados, o uso de ferramentais estatísticos e de *softwares* específicos, precisam ser realizadas com muita efetividade. Muitas vezes, os profissionais

de saúde não são preparados para operar sistemas de suporte à decisão que envolvem tais modelos, e para que o processo ocorra de forma adequada é necessário o desenvolvimento de interfaces amigáveis.

## **2.5 As técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas no contexto da Saúde**

O desenvolvimento de ferramentas virtuais, intuitivas e interativas é uma boa oportunidade para os profissionais que atuam na área da saúde realizarem suas atividades práticas. Um exemplo disso pode ser encontrado no trabalho de Bucioli (2008), que utiliza as técnicas de simulação, processamento de imagens e aplicação em tempo real e propõe uma solução para medição de batimentos cardíacos. A coleta da pulsação dos pacientes pode ser realizada de diferentes formas (desde valores fixos até medição em tempo real) e a ferramenta permite que o usuário visualize, em uma interface intuitiva, seu próprio corpo, bem como a representação de seu coração batendo de acordo com seu próprio batimento cardíaco em tempo real. A ferramenta também propicia a estudantes de Medicina aprofundar suas experiências antes de avançarem para a prática com humanos (BUCIOLI, 2008).

Em outro estudo, Silva Júnior (2012) desenvolveu uma ferramenta de simulação e realidade virtual para os estudantes praticarem a técnica de inseminação artificial, permitindo reduzir custos, bem como riscos à saúde dos alunos e dos animais.

A aplicação de modelos também é fundamental quando se deseja observar o comportamento de sistemas que apresentam impossibilidade de observação direta. Nesse sentido, Silva (2012) sugere a simulação de um acidente radiológico, utilizando modelagem via simulação e Sistema de Informação Geográfica (SIG). Como se trata de uma situação impossível de se testar em cenário real, mesmo que em escala reduzida, o emprego do ambiente virtual é fundamental.

Com o uso desse ambiente virtual, foi possível quantificar as doses recebidas por pessoa, verificar a distribuição espacial dos agentes contaminados, estimar o número de indivíduos contaminados e desenvolver uma metodologia para treinar o pessoal técnico para lidar com acidentes dessa natureza. Além desses elementos, foi possível estimar também os impactos ambientais, a geração de zonas de exclusão (rotas de fuga), a construção de cenários alternativos e a estimativa do impacto na rede de saúde (SILVA, 2012).

Em outro tipo de aplicação, a partir de um simulador denominado DGHPSIM, Gunal e Pidd (2011) mostram como um hospital pode investigar as ações de melhoria a serem implantadas antes da sua aplicação ou como um hospital pode melhorar o seu desempenho. A partir desse simulador, hospitais na Inglaterra têm conseguido mensurar melhorias, haja vista que essas unidades de saúde têm metas que visam principalmente ao atendimento de qualidade e sem longas esperas.

Além de manter níveis de atendimento satisfatórios, os gestores também precisam garantir o acesso aos sistemas de saúde, quando há demanda por parte dos usuários. Para Valença (2011), os investimentos no setor de saúde claramente não têm acompanhado a demanda da população e os avanços tecnológicos constantes.

E se não há recursos suficientes para todas as demandas, as técnicas de controle e ação para redução de custos em sistemas de saúde são fundamentalmente importantes, pois o fator financeiro sempre é um gargalo em sistemas médicos. No estudo de Souza *et al.* (2008), uma aplicação do sistema de custeio baseado em atividades (ABC ó *activity-based cost*) foi utilizado em um centro cirúrgico em três tipos de hospital, todos eles do setor privado.

Outro problema complexo e que demanda grandes investimentos financeiros, principalmente nos grandes centros urbanos, é a acessibilidade dos veículos de emergência médica aos hospitais e centros de atendimento médico. No trabalho de Oliveira (2012), o SAMU na cidade do Rio de Janeiro (zona oeste) foi estudado com o objetivo de reduzir o tempo de resposta e o tempo de espera dos usuários do sistema via SED. Além do dimensionamento da frota de ambulâncias e das bases de operação, foram também estudados diferentes cenários para a atuação dos profissionais no *Call Center* (central de regulação), onde são recebidas as chamadas e a decisão de despachar as ambulâncias (OLIVEIRA, 2012).

Outro problema típico em sistema de saúde consiste em conciliar resgate ágil com trânsito intenso (principalmente nos horários de pico das grandes metrópoles). Desta forma, os Sistemas Médicos de Emergência (SME) enfrentam um contínuo desafio nas grandes cidades do mundo, incluindo o Brasil (SILVA, 2010). De acordo com a OMS, o adequado tempo para realizar o primeiro atendimento a um paciente com agravo sério à saúde (tais como problemas cardíacos, respiratórios, quedas, acidentes de trânsito, entre outros) é de oito minutos. Em Belo Horizonte, o sistema modelado via Simulação à Eventos Discretos demonstrou que o tempo de resposta está na casa de 21 minutos (SILVA, 2010).

O estudo de Silva (2010), além de identificar o tempo de resposta do sistema, detectou potenciais pontos de ação, sendo: a) redução do tempo de atendimento na central de regulação; b) aumento no número de ambulâncias; c) redistribuição das bases de operação de maneira mais eficiente; d) políticas públicas para melhorar o trânsito da cidade e, por consequência, permitir o deslocamento das ambulâncias de forma mais ágil (aumentando sua velocidade média de deslocamento, por exemplo).

Em trabalho posterior, Nogueira Júnior (2011) estudou o mesmo SME na cidade de Belo Horizonte, produzindo como principal contribuição uma pesquisa para realocação das bases de operação, utilizando um modelo de localização de facilidades desenvolvido especificamente para este caso. Com a reconfiguração das bases de operação do sistema, foi possível reduzir o tempo de resposta do sistema para 18 minutos nos horários de mais demanda (manhã e tarde). No período da noite e madrugada, em virtude de a velocidade média de deslocamento da ambulância ser maior, o tempo foi reduzido para 15 e oito minutos, respectivamente.

Neste estudo, em função dos resultados verificados no período da madrugada, foi possível constatar a importância que o trânsito tem na agilidade do SME em grandes metrópoles. Além do trânsito, o número de ambulâncias e a localização das bases de operação são também elementos cruciais para o desempenho do sistema (NOGUEIRA JÚNIOR, 2011).

Em um contexto um pouco diferente do Serviço de Atendimento Móvel, Valença (2011) usa a técnica de SED aplicada em uma policlínica, objetivando analisar e melhorar o agendamento e o dimensionamento do centro de consultas e atendimentos para crianças portadoras de necessidades especiais. Para que um paciente tenha atendimento adequado, dimensionar a equipe médica é tarefa complexa e delicada em qualquer unidade de atendimento de saúde. Estimar a previsão de demanda de médicos para atendimento de pacientes na rede pública muitas vezes é realizada empiricamente, sem considerar técnicas ou métodos mais estruturados (OLIVEIRA, 2007).

No estudo de Adams e Hirschfeld (1998) é apresentado um dado da OMS em que vários países (por intermédio de seus Ministérios da Saúde) enfrentam problemas com *déficit* de profissionais, a qualidade da formação, bem como a distribuição desproporcional do corpo efetivo nas diferentes regiões do país (retratando baixo número de profissionais fora dos grandes centros urbanos e nas regiões mais periféricas ou carentes).

Em estudo para construir modelos de previsão para dimensionamento do número adequado de profissionais de saúde, Oliveira (2007) utilizou uma base de dados robusta e

ainda considerando muitas variáveis. Os principais dados são o número de profissionais recém-graduados, aposentadorias e falecimentos de profissionais em idade ativa, migração interna e externa, profissionais ativos, profissionais trabalhando em outras áreas, mudanças de especialidades médicas, carga de trabalho, entre outros, de acordo com a especificidades de cada realidade.

Além do dimensionamento adequado da mão-de-obra que atua nos sistemas de saúde, a disponibilidade das salas de cirurgia (chamados também de blocos cirúrgicos ou centros cirúrgicos) e o fluxo dos pacientes que percorrem as unidades de saúde são focos constantes de aprimoramento (JOAQUIM, 2005).

No trabalho de Joaquim (2005), uma modelagem foi proposta para avaliar o fluxo de atividades nas salas de cirurgia. A partir de testes de cenários realizados via SED, foram propostas duas alternativas: o primeiro cenário representou a alteração do fluxo de atividades na sala da cirurgia e o segundo o número de salas de cirurgia foi ampliado, mas o fluxo de atividades não foi alterado. Ambos os cenários reduziram a taxa de ocupação e contribuem para aumentar a capacidade de atendimento de pacientes.

Stroparo (2005) utilizou três cenários distintos para estudar a taxa de ocupação de um centro cirúrgico, com objetivo principal de reduzir a ociosidade das salas de cirurgia. A utilização da simulação permitiu, entre outras coisas, a modelagem do fluxo e a representação gráfica do bloco cirúrgico. Essas duas abordagens permitem que os envolvidos no setor tenham melhor conhecimento do processo e ainda possam vê-lo em funcionamento, como se fossem espectadores. Desta forma, a equipe consegue identificar pontos de melhoria e contribuir para a performance do bloco cirúrgico e ainda da própria equipe (STROPARO, 2005).

Ainda de acordo com Stroparo (2005), a intervenção em conjunto com a equipe médica permitiu estudar alternativas de alteração no mapa cirúrgico, o que favoreceu identificar um problema no agendamento. A partir do mapeamento dos principais fatores de ociosidade, foi possível efetuar melhorias na gestão dos recursos, tendo redução no cancelamento de cirurgias e redução de atrasos na execução de procedimentos. Com a modelagem e os testes de cenário, foi possível também testar a expansão do centro cirúrgico, os recursos necessários para a execução, bem como as necessidades de recursos humanos e equipamentos (STROPARO, 2005).

Torres (2007) também avaliou um centro cirúrgico no Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, no Rio de Janeiro. Ele dividiu o estudo em duas fases: na primeira, desenvolveu um modelo de simulação e na segunda utilizou Análise Envoltória

de Dados (AED), destinada a estudar a produtividade e a eficiência técnica de organizações que empregam múltiplos insumos para gerar múltiplos produtos. A partir desse estudo, foi possível registrar melhoria na performance do bloco cirúrgico, com aumento da disponibilidade a partir da utilização de duas técnicas de PO, ambas do tipo *hard*, com forte uso de ferramentas computacionais e matemáticas.

Em estudo no mesmo Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, Pessoa (2010) conciliou a utilização de ferramentas de simulação e mapas cognitivos, uma do tipo *hard* e outra *soft*, respectivamente, na área de PO. A partir da utilização de simulação e mapas cognitivos foi possível propor alterações de fluxo e procedimento exequíveis, permitindo principalmente aumentar o número de cirurgias em curto e médio prazo. Outro ganho do uso das duas técnicas foi a participação e integração da equipe médica especialista. Os mapas cognitivos permitiram que os envolvidos na operação pudessem participar de forma mais ativa no processo de construção da modelagem, o que dificilmente teria acontecido em estudo isolado de simulação ó por sua natureza mais matemática/computacional (PESSÔA, 2010).

Nikakhtar e Hsiang (2014) abordam a complexidade de se estimar a capacidade em unidades de saúde. Uma modelagem de SED é proposta para estudar o comportamento do sistema com operação normal e em casos onde epidemias podem elevar a demanda de pacientes.

Neste estudo, foram testados 11 cenários considerando diferentes situações de epidemia e de procura por um centro de saúde em uma cidade do Texas (Estados Unidos da América - EUA). Verificou-se que o desempenho fica comprometido quando o regime de chegada dos pacientes se eleva muito. Como resultado, seis configurações para atuação em picos de demanda foram propostas, buscando equilíbrio entre desempenho e *design* na clínica (NIKAKHTAR; HSIANG, 2014).

Em pesquisa feita no Reino Unido, Eatock *et al.* (2011) propuseram via simulação uma modelagem para dimensionar um departamento de emergência que tem, por determinação governamental, de realizar todo atendimento de emergência num prazo de quatro horas. A principal contribuição foi demonstrar que a capacidade de um centro de emergência é sensivelmente afetada em função do tempo de permanência dos pacientes. Desta forma, nas modelagens para dimensionamento de unidades de emergência é preciso considerar que durante os turnos de trabalho a capacidade deve ser redimensionada em função da característica dos pacientes que estão sendo atendidos (EATOCK *et al.*, 2011).

Glowacka, Henry e May (2009) preconizaram uma modelagem integrada para o problema de sequenciamento de pacientes em uma clínica médica nos Estados Unidos. Os tempos variáveis de atendimento e ainda os casos de não comparecimento dos pacientes para as consultas interferia na taxa de ocupação da clínica. O modelo proposto permitiu melhorar a taxa de ocupação da clínica, principalmente ao utilizar taxas de pacientes que não comparecem de forma variável, diferentemente das outras modelagens, que consideravam sempre um valor médio fixo.

Em um problema para determinar a alocação ótima de um centro cirúrgico, com o objetivo de minimizar o custo por paciente, Zhang *et al.* (2009) utilizaram, de forma integrada, programação inteira mista e simulação em um hospital na cidade de Los Angeles nos Estados Unidos. A partir da abordagem analítica, foram consideradas questões como a criticidade do paciente (emergência ou não), a disponibilidade de leito e das equipes médicas. Com base na solução ótima do modelo analítico, um modelo de simulação é utilizado para complementar o estudo, considerando as aleatoriedades características desse sistema, tais como o tempo de cirurgia, a demanda, o tempo de chegada e o não comparecimento (ZHANG *et al.*, 2009).

Utilizando SED, Vasilakis, Sobolev e Levy (2007) compararam dois métodos de agendamento de consultas médicas em um ambulatório. Apuraram que se pode agilizar o processo de atendimento relacionando à demanda de consultas com a disponibilidade médica e estabelecendo critérios de prioridade. No total, o período de simulação foi de 108 semanas, envolvendo 287.144 pacientes; e o tempo de espera por cirurgia reduziu-se em até 30%.

Kadri, Chaabane e Tahon (2014) avaliaram o problema de fluxo elevado de pacientes em serviços de emergência. Como os recursos físicos e humanos são limitados, estratégias para lidar com o controle do fluxo são necessários. Nesse estudo, um modelo de SED foi usado, buscando-se identificar as principais demandas que surgem nos momentos de pico de fluxo e as medidas necessárias para mitigação. Como resultado, constatou-se que a adequada gestão das demandas, mesmo em momentos de pico, podem trazer melhor desempenho da equipe e da unidade de saúde.

Pesquisa feita no Reino Unido por Ashton *et al.* (2005) empregou a simulação para analisar o sistema de atendimento médico, com foco inicial no atendimento primário. Com base nisso, foi criado um serviço de telefone com enfermeiros, de orientação à saúde e informando os serviços disponíveis de acordo com as demandas recebidas. Os principais

serviços demandados pela população também sofreram aumento no horário de atendimento, funcionando 15 horas por dia, nos sete dias da semana.

No Brasil, no modelo adotado pelo SUS, a equidade no acesso ao serviço é um princípio básico. Oliveira, Travassos e Carvalho (2004) relatam que nem sempre esse princípio é respeitado, principalmente quando o paciente precisa se deslocar vários quilômetros para chegar a uma unidade de saúde.

Desta forma, nem sempre localizar unidades de saúde nos grandes centros urbanos é capaz de atender toda a população daquela região. A localização correta de um posto médico, hospital ou clínica torna-se, além de uma medida primordial para atendimento no SUS, também uma questão importante no uso do equipamento pelo paciente (OLIVEIRA; TRAVASSOS; CARVALHO, 2004).

Os modelos para localização de facilidades em sistemas de saúde, por exemplo, têm sido adotados em diversas aplicações (ANDERSSON; VARBRAND, 2007). Em detalhado estudo, Daskin e Dean (2004) apresentam, divididos em três categorias, os modelos mais verificados na literatura, sendo: a) *accessibility models*; b) *adaptability models*; c) *availability models*.

Para os modelos de acessibilidade (*accessibility models*), busca-se localizar as instalações mais bem situadas com os dados de demanda, custo e distância de viagem ou tempo de viagem, geralmente assumindo ser um valor fixo e não uma variável aleatória (DASKIN; DEAN, 2004).

No caso dos modelos conhecidos como *adaptáveis* (*adaptability models*), a localização das facilidades é investigada sem se conhecer necessariamente todas as condições futuras (como na instalação de um hospital). Já os modelos do tipo *disponibilidade* (*availability models*) são abordados em condições em que um sistema opera em constantes mudanças de curto prazo, como acontece frequentemente em serviços de emergência (ambulâncias), nos casos em que os veículos podem ser ocupados e não atender a toda demanda necessária (DASKIN; DEAN, 2004).

Como observado ao longo do texto, os problemas em sistemas médicos são complexos e demandam, quase que como uma regra, a utilização de ferramentas computacionais para solucionar os problemas que surgem no dia-a-dia. Eom e Kim (2006) identificaram, nos principais *Journals* mundiais, um número de 684 publicações que abordavam a utilização de sistemas de suporte à decisão, no período de 1971 e 2001.

O uso de ferramentas de otimização tem tido grande crescimento desde a década de 1970. Eom e Kim (2006) também demonstraram que entre as ferramentas computacionais

utilizadas os modelos de otimização representaram 28% das aplicações entre 1971 e 1988, 38% entre 1988 e 1994 e a marca de 51% no período entre 1995 e 2001.

De forma semelhante, a simulação tem também sido muito aplicada nas diversas áreas da saúde (GUNAL; PIDD, 2010). Além da SED, a SBA também tem se mostrado uma abordagem bastante útil em modelagens de sistemas (BUNN; OLIVEIRA, 2001). Em sistemas de saúde existem algumas situações como evacuações em massa e comportamento de multidões, em que a análise dos agentes é de suma importância tanto quanto a modelagem do sistema (CHAN; SON; MACAU, 2010).

Meng *et al.* (2010) aplicaram modelagem via SBA para estudar o comportamento de uma bactéria e sua capacidade de infecção de pacientes. No modelo, cada paciente é um agente que recebe a identificação de infectado ou não e ainda o período estimado de permanência na unidade de saúde e o grau de suscetibilidade da infecção. Com esses *inputs*, o modelo é capaz de informar a taxa de proliferação da bactéria, dado fundamental para a unidade de saúde criar mecanismos e procedimentos de proteção e mitigação.

De acordo com Jahn *et al.* (2010), nos sistemas médicos existem duas demandas que são prioritariamente desejadas: disponibilidade de recursos necessários (físicos e humanos) e tratamento ágil. Acontece que muitas vezes, para se alcançar tais objetivos, é necessário estudar aquilo que provoca a não agilidade dos tratamentos.

Em estudo no qual se utilizou a teoria das filas e SED, Jahn *et al.* (2010) analisaram o tempo perdido em um hospital no atendimento a pacientes em virtude da limitação de recursos. Verificou-se forte impacto no desempenho da unidade de saúde em detrimento da falta de alguns equipamentos e leitos-chave. A modelagem também foi importante e útil para identificação de gargalos e para verificar possibilidades de otimização de fluxo.

Algumas das principais características das filas para tratamento de saúde com internação no SUS, incluindo o Sistema Nacional de Transplantes, foram avaliadas, salientando-se que unidades de saúde de maior porte têm condições de minimizar de forma mais eficiente as filas de atendimento, não acontecendo o mesmo em unidades menores (MARINHO, 2004).

Marinho (2004) acrescenta que as restrições da oferta, as incertezas da demanda e os problemas de administração e de gestão são fatores agravantes para a formação de filas, com impacto mais significativo nos hospitais públicos da região Sudeste do Brasil, gerando, além de perda de renda, comprometimento do bem-estar da população brasileira.

Um outro sistema importante na administração hospitalar é a farmácia. Neste setor, muitos medicamentos têm alto valor monetário ou apresentam perecibilidade bastante

acelerada, forçando os gestores a estabelecer mecanismos de controle que garantam a disponibilidade do medicamento sem comprometer a saúde financeira do hospital (BRASIL, 1994).

Em estudo realizado em uma farmácia hospitalar, Rocha *et al.* (2014) empregaram a técnica de SED para verificar o impacto na distribuição de medicamentos de um hospital após alterações propostas em uma abordagem de *Lean Manufacturing*, pela técnica *Value Stream Mapping* (VSM). Depois de implementação, testes de cenário e reconfigurações, a proposta conseguiu atingir o objetivo de reduzir as prescrições atrasadas e atender os pacientes no prazo necessário.

A ocupação de leitos de Unidades de Terapia Intensiva (UTI) também obedece a decisões complexas da equipe médica. A decisão em manter ou retirar um paciente da UTI envolve parâmetros difíceis de serem modelados (MALLOR; AZCÁRATE, 2011). Em estudo realizado a partir de dados de um hospital da cidade de Navarra (Espanha), foi proposto um modelo de simulação em conjunto com um de otimização. O objetivo principal do modelo matemático foi estimar as decisões tomadas pelos profissionais de saúde, buscando comparar os resultados da simulação com os do sistema real. O uso das técnicas se mostrou eficiente para dimensionamento de UTI e análise de capacidade de diferentes cenários.

Em outra análise de dimensionamento de capacidade de leitos, Pinto *et al.* (2014), por meio da teoria de filas e simulação, dimensionara leitos do SUS na cidade de Belo Horizonte, sendo a última abordagem voltada para avaliar os resultados obtidos pelo modelo de filas e verificar sua usabilidade. A principal contribuição do estudo é propor um modelo de filas que pode ser utilizado para o dimensionamento de leitos de outras cidades brasileiras, tornando-se uma alternativa a atual escolha feita de maneira empírica.

Outro caso crítico no processo de tomada de decisão de um gestor na área da saúde é o problema de atribuição de um número de leitos para diferentes especialidades médicas e cirurgias em um hospital. Lapierre *et al.* (1999) apresentam uma modelagem matemática com dados de um censo (com informações medidas de hora em hora durante seis semanas) para dimensionamento das unidades e instalação de 450 leitos. Com o modelo também foi possível aumentar o número de atendimentos no setor de Obstetrícia e em demais áreas críticas do hospital.

Mackay e Lee (2005), em trabalho também de alocação e ocupação de número de leitos, realizaram estudo cuja base de dados se mostrou um elemento significativo na resposta da modelagem. Quando utilizados dados de um único dia, os resultados se

mostraram inferiores na comparação com a modelagem, que usou dados de um período de 12 meses.

Técnicas heurísticas também são utilizadas no estudo de problemas que envolvem a programação e sequenciamento de cirurgias. Em uma revisão realizada por Margerlien e Martin (1978), é possível observar que os primeiros estudos remetem a década de 1960, mas somente a partir dos anos 2000 ocorreram um número mais significativo de publicações (CARDOEN *et al.*, 2010).

Hsu *et al.* (2003), utilizaram a técnica de Busca Tabu para estudarem um problema em um centro cirúrgico de um hospital universitário. Foram utilizadas instâncias reais e o problema foi resolvido dividindo o problema em dois estágio principais, sendo o primeiro relativo ao processo de cirurgia e o segundo processo o pós-operatório.

Em uma abordagem multi-objetivo (buscando a maximização da utilização dos recursos e minimização de custos), Fei *et al.* (2010) resolveram um problema de sequenciamento de cirurgias também utilizando métodos heurísticos. O problema foi dividido em duas etapas, sendo a primeira relativa ao agendamento da cirurgia e na segunda etapa relativa a alocação de recursos e sequenciamento. A técnicas utilizadas para cada uma das etapas foram o Método de Geração de Colunas e Algoritmo Genético, respectivamente.

No estudo de Riise e Burke (2011), o problema de sequenciamento e alocação de recurso foi trabalhado de forma integrada. A principal vantagem de trabalhar o problema de forma conjunta é que é possível definir o sequenciamento das salas de cirurgia, bem como da equipe de cirurgia. Os procedimentos heurísticos construídos neste estudo se basearam em Busca Local Iterada e no *Variable Neighborhood Descend*.

Considerando os apontamentos deste capítulo, pode-se perceber que os problemas em diversas áreas da saúde são complexos e que o recurso financeiro não é suficiente para sanar todas as demandas. Contudo, existe um conjunto de iniciativas com técnicas para resolução de problemas que indicam um cenário onde é possível melhorar os níveis de eficiência e eficácia do setor, permitindo, assim, fazer mais com o uso de recursos escassos e ainda mantendo adequada performance.

Problemas como dimensionamento de leitos, de melhoria de performance de centros cirúrgicos e de departamentos de emergência, de localização e alocação de ambulâncias nos sistemas de resgate de emergência, de redução de despesas nas farmácias hospitalares, de redução do tamanho das filas de transplante, de aumento nos níveis de material nos bancos de sangue são alguns dos exemplos a serem trabalhados nos sistemas de saúde.

O quadro 01, traz um resumo das principais publicações observadas nesse capítulo. Informações sobre o problema ou objetivo do estudo são identificados, bem como as técnicas de solução utilizadas e a área de aplicação.

QUADRO 1 ó Resumo dos principais trabalhos identificados

<b>Problema / Objetivo</b>	<b>Técnica de Solução</b>	<b>Área de Aplicação</b>	<b>Autores</b>
Coleta de informações sobre pacientes	Simulação em tempo real e Processamento de imagem	Ensino	Bucioli (2008)
Prática de inseminação artificial em animais	Simulação e Realidade Virtual	Ensino	Silva Junior (2012)
Observação de acidente radiológico	Simulação e Sistema de Informação Geográfica	Ensino	Silva (2012)
Analisar ações de melhoria pré-implantação	Simulação	Hospital	Gunal e Pidd (2011)
Reduzir tempo de resposta	Simulação à Eventos Discretos	Samu	Oliveira (2012)
Reduzir tempo de resposta	Simulação à Eventos Discretos	Samu	Silva (2010)
Reduzir tempo de resposta e realocação de bases de operação	Localização de Facilidades e Simulação à Eventos Discretos	Samu	Nogueira Junior (2011)
Agendamento e dimensionamento	Simulação à Eventos Discretos	Unidade de Saúde	Valença (2011)
Dimensionamento	Simulação à Eventos Discretos	Bloco Cirúrgico	Joaquim (2005)
Taxa de ocupação	Simulação	Bloco Cirúrgico	Stroparo (2015)
Dimensionamento	Simulação à Eventos Discretos	Departamento de Emergência	Eatock et al. (2011)
Sequenciamento de procedimentos	Técnica determinística de Otimização	Clínica médica	Glowacka, Henry e May (2009)
Alocação	Técnica determinística de Otimização	Bloco Cirúrgico	Zhang et al. (2009)
Proliferação de doença	Simulação Baseada em Agentes	Hospital	Meng et al. (2010)
Tempo de espera	Simulação à Eventos Discretos e Teoria de Filas	Hospital	Janh et al. (2010)
Distribuição de medicamentos	Teoria de Filas	Farmácia Hospitalar	Rocha et al. (2004)
Ocupação de leito	Simulação à Eventos Discretos e Técnica determinística de	Hospital	Mallor e Azcarate (2011)
Dimensionamento	Simulação à Eventos Discretos e Teoria de Filas	Leito hospitalar	Pinto et al. (2014)
Programação e Sequenciamento de Cirurgia	Heurística	Bloco Cirúrgico	Hsu et al. (2003)
Sequenciamento de cirurgia	Heurística	Bloco Cirúrgico	Fei et al. (2010)
Sequenciamento e alocação de recursos	Heurística	Bloco Cirúrgico	Riise e Burke (2011)

Fonte: Elaborado pelo autor (2014).

Para auxiliar o trabalho de mitigação e/ou solução de problemas, várias técnicas foram observadas, podendo-se destacar a SED, a SBA, a técnica de otimização para localização de facilidades, a teoria das filas, dentre outras, que demonstram grande efetividade e resultados alinhados às expectativas existentes. A simulação associada a outras técnicas tem tido crescente apelo, devido ao fato de que, apesar de ser excelente técnica na avaliação da performance de cenários, não é capaz de fazer sozinha a escolha da configuração mais adequada aos sistemas.

### 3 CONSTRUÇÃO DA METODOLOGIA

#### 3.1 Introdução

De acordo com Gil (1999), pesquisa define-se como:

*õ... processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos. (p. 42)ö.*

Para Gil (1999), a pesquisa exploratória do tipo bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado e tem como objetivos desenvolver, elucidar e aprofundar conceitos e ideias. Tal delineamento é importante para coletar as informações chave, obtidas pela leitura da documentação científica, disponíveis nos artigos, livros, dissertações e teses.

Neste estudo, a criação de uma metodologia visa preencher uma lacuna observada, onde não foi identificado um instrumento que organizasse e apresentasse em uma linguagem clara, aplicações de Pesquisa Operacional para resolução de problemas na área de saúde.

Além desta primeira lacuna a ser preenchida, o desenvolvimento desta metodologia poderá também servir de base para construção de Sistemas Especialistas e/ou de Sistemas de Suporte à Decisão com aplicações de técnicas de PO nas diversas áreas da Saúde.

O método desenvolvidos permite que informações importantes, relativas ao dia a dia dos sistemas de saúde, possam ser identificadas e a posteriori utilizadas como parâmetros de entrada nos Sistemas, o que seria bastante útil para os desenvolvedores de sistemas.

Algumas informações poderão ser incorporadas nos sistemas em desenvolvimento e permitirão a identificação de alguns dados que são fundamentais para se estudar o comportamento da unidade de saúde em estudo. Por exemplo, alguns desses elementos que poderiam ser incorporados aos sistemas seriam: o tempo total de consulta (registro da hora de início e da hora de término), a utilização de leitos (registro da hora de entrada e da hora de saída), o tempo de espera (registro do horário de chegada e do horário de atendimento), dados do sistema de triagem (estatística dos tipos de atendimento mais corriqueiros, dos horários e dias da semana de maior demanda, dentre outros).

Sendo assim, além da proposição de um instrumento que servirá de referência para gestores, médicos, profissionais da área da saúde, esse estudo também objetiva ser útil para desenvolvedores de sistema, analistas e engenheiros no desenvolvimentos e aprimoramento de novas ferramentas, sistemas e soluções na área de saúde.

Para representar a metodologia proposta neste estudo um fluxograma será utilizado. Este fluxo, representado na FIG. 03, conta com nove etapas sucessivas, que não necessariamente se encerram por completo à medida que se passa para o passo seguinte.

Os números que identificam cada etapa do fluxo (de 1 a 9) na FIG. 03 servem de referência para o próximo tópico, onde será detalhado cada passo da metodologia.

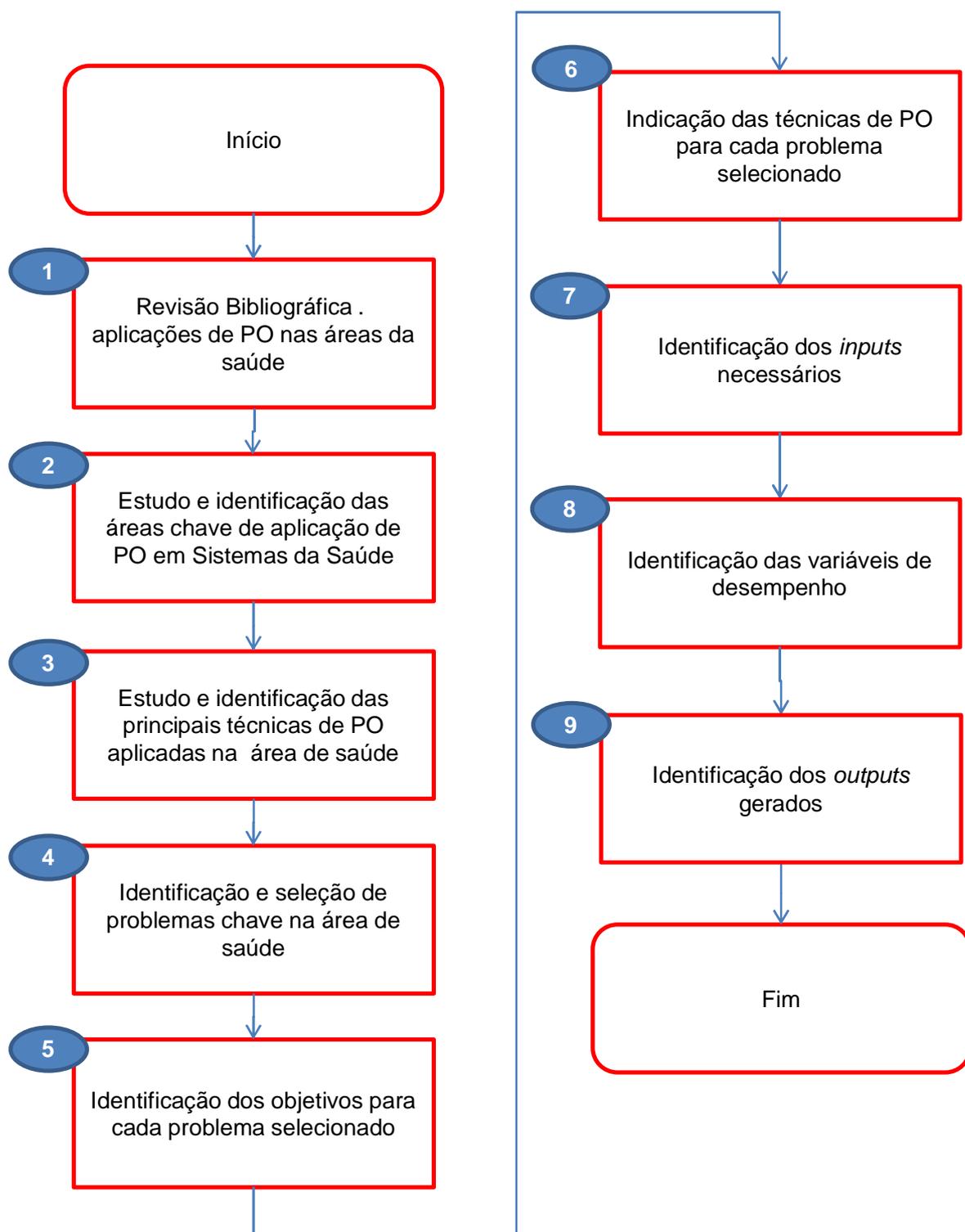


FIGURA 3 ó Detalhamento da metodologia proposta

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2 Detalhamento da metodologia proposta

Passo 1 ó Revisão Bibliográfica ó aplicações de PO nas áreas da saúde

O início do trabalho se deu a partir da pesquisa e identificação de artigos científicos, livros com referências nacionais e internacionais. A partir da leitura e análise buscou-se identificar as potencialidades, boas práticas, técnicas mais utilizadas, áreas estudadas, resultados observados e lacunas.

Esta revisão bibliográfica foi inclusive primordial para a concepção e detalhamento deste método, servindo portanto como referência para concepção dos passos seguintes.

### Passo 2 ó Estudo e identificação das áreas chave de aplicação de PO em Sistemas da Saúde

A partir da revisão bibliográfica realizada no passo 1, foi possível identificar algumas áreas de maior aplicação de PO em sistemas de saúde. Ocorre que, em virtude das diversas fontes utilizadas, não foi possível identificar com a clareza desejada todas as áreas chave em sistemas de saúde. Desta forma, nesta etapa foi necessário filtrar a seleção de uma fonte de publicações científicas que sumarizasse de forma clara, algumas áreas para concentrar o foco do estudo.

Com base nessa necessidade, o congresso denominado Winter Simulation Conference foi identificado como um fonte de dados consistente e muito relevante, quando se objetiva analisar aplicações de Pesquisa Operacional, especialmente simulação, no contexto de problemas de Saúde. Além desta conveniência, o congresso é notoriamente reconhecido como o maior eventos de simulação mundial, apresentando anualmente um conjunto de publicações de altíssima relevância e qualidade técnica.

Uma última justificativa para seleção do referido congresso para análise de publicações científicas, está na disponibilização de todas as publicações, desde 1968, analisadas em ambiente eletrônico, através do site da organização (disponível em <http://wintersim.org/>), permitindo consultas e análises futuras que possam ser necessárias.

Em virtude da importância dessa etapa, no capítulo 4 dessa tese, o estudo de identificação das áreas chave em Sistemas da Saúde será detalhado.

### Passo 3 ó Estudo e identificação das principais técnicas de PO aplicadas na área de saúde

Da mesma forma que descrito no passo 2, a seleção das técnicas de Pesquisa Operacional se baseou em uma pesquisa bibliográfica realizada em diversas publicações nacionais e internacionais. Em virtude da mesma dificuldade observada na seleção das principais áreas de aplicação de PO em saúde, para identificação das técnicas de PO também foi necessário realizar um recorte em um determinado conjunto de publicações.

Neste caso também foram analisadas as publicações do Congresso *Winter Simulation Conference*, que conforme descrito no passo anterior, também permitiu a identificação de forma mais precisa das técnicas de PO que melhor se aderem a proposta de resolução de problemas objetivada nesse estudo. Vale lembrar que, nesse caso, a pesquisa apenas se concentrou mais nas publicações do referido congresso, mas não se restringiram a ela, sendo pesquisados também periódicos científicos.

Com o intuito de detalhar ao máximo as técnicas de resolução de PO selecionadas neste estudo, no capítulo 5 dessa tese, será realizado a apresentação de cada técnica, seu histórico, o método, as ferramentas computacionais e aplicações.

Os passos seguintes, terão seu detalhamento apresentado no capítulo 6, onde a metodologia proposta é colocada em prática para uma série de problemas na área de saúde.

#### Passo 4 ó Identificação e seleção de problemas chave na área de saúde

Nesta, com base nas pesquisas bibliográficas realizadas em diversas fontes de pesquisa, e principalmente nos artigos publicados nos anais do Congresso *Winter Simulation Conference*, foi possível identificar alguns dos principais problemas verificados na área de saúde, que podem ser resolvidos via utilização de PO. O intuito aqui é mapear as principais categorias de problemas, sem portanto, a pretensão de esgotar o estudo de todos os problemas dessa área.

#### Passo 5 ó Identificação dos objetivos para cada problema selecionado

Nesta etapa os objetivos buscados na a resolução de cada problema serão apresentadas. Estes objetivos naturalmente estarão diretamente ligados a natureza do problema em estudo.

#### Passo 6 ó Indicação das técnicas de PO para cada problema selecionado

A partir da identificação das técnicas mais relevantes para solução dos problemas identificados neste estudo, realizadas nos passos anteriores dessa metodologia (passos 1 e 3), neste momento, a intenção é selecionar as técnicas ou a técnica que apresenta maior utilização e por consequência um bom desempenho na resolução ou mitigação do problema em estudo.

A seleção da técnica ou de técnicas de forma combinada para cada problema em questão, também se baseou exclusivamente na análise bibliográfica realizada e detalhada nos passos 1 e 3 apresentados relatados anteriormente

### Passo 7 ó Identificação dos *inputs* necessários

Esta etapa consiste em identificar os *inputs* necessários que o analista e a equipe de trabalho deverão buscar para utilizar a(s) técnica(s) sugerida(s) para resolver o problema em questão.

Neste momento, é necessário identificar com clareza quais são os parâmetros necessário para permitir que as técnicas de PO sejam efetivamente utilizadas, aproveitando assim todo o potencial das técnicas.

### Passo 8 ó Identificação das variáveis de desempenho

Na oitava etapa, as variáveis de desempenho (baseadas nos objetivos) serão identificadas. Essas variáveis são normalmente utilizadas para avaliar o sistema quantitativamente, servindo inclusive para comparar diferentes cenários de operação dos sistemas analisados.

### Passo 9 ó Identificação dos *outputs* gerados

Por fim, na última etapa, a partir da aplicação da(s) técnica(s), geram-se os outputs, ou seja, os parâmetros de saída que quantificam cada variável de desempenho, de forma a tornar possível a avaliação da performance global do sistema.

Nos capítulos seguintes, os passos da metodologia (do segundo ao nono passo) serão detalhados. Alguns terão capítulo específico (caso do passo 2 e do passo 3, nos capítulos quatro e cinco, respectivamente. Os demais passos serão apresentados no capítulo seis).

## 4 SISTEMAS DE SAÚDE

### 4.1 Delimitação do escopo das áreas da saúde selecionadas neste estudo

A revisão bibliográfica realizada no capítulo 2 permitiu constatar que algumas áreas nos sistemas de saúde são críticas e estratégicas. Neste capítulo, serão apresentados e definidos alguns termos e áreas, visando facilitar o entendimento dos capítulos seguintes.

Buscando identificar algumas áreas estratégicas em saúde e complementando as informações já identificadas no capítulo anterior desta tese, foram analisadas publicações relacionadas a sistemas de saúde de um congresso de abrangência mundial, denominado *Winter Simulation Conference* (WSC) (disponíveis em <http://www.wintersim.org/>).

No total, foram 302 publicações entre os anos de 1969 e 2013 e a escolha dos artigos desse congresso se deu a partir de sua reconhecida abrangência em aplicações de simulação na área de saúde e sua credibilidade mundial. É importante ressaltar que existem diversas outras fontes (seja de congressos ou de revistas) que também trazem informações relevantes para estudos em sistemas médicos. Não é pretensão deste trabalho analisar todas as fontes de pesquisa disponíveis. O objetivo é permitir que algumas das áreas-chave nos sistemas de saúde que demandam e/ou requerem mais atenção e/ou atuação sejam claramente identificadas.

Após a seleção, leitura e análise das publicações relacionadas a sistemas médicos do WSC, apurou-se que 24% estavam relacionadas a políticas públicas na área de saúde, tais como estudos de pandemias, epidemias e estratégias públicas de saúde. Além disso, estudos aplicados em problemas nos hospitais e unidades de atendimento correspondem a 192 das publicações, ou 64% do total.

A FIG. 4 mostra de forma ilustrativa as ocorrências verificadas nas publicações da WSC por área, sumarizadas aqui como políticas públicas, hospitais e unidades de pronto-atendimento e sistema médico de emergência (ou SAMU) entre os anos de 1969 e 2013.

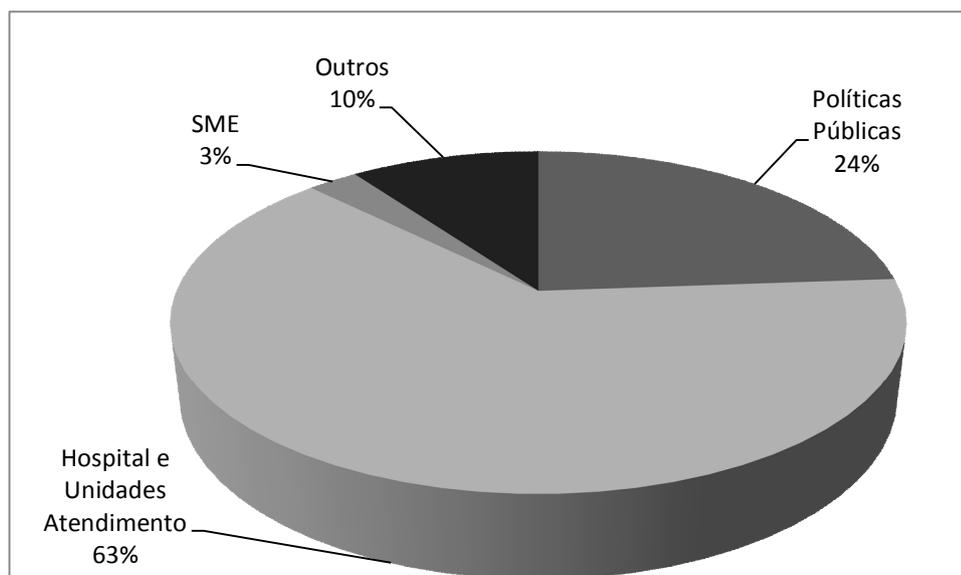


FIGURA 4 - Ocorrências por grandes áreas em sistemas de saúde

Fonte: *Winter Simulation Conference website*.

Ainda analisando as publicações do WSC entre os anos de 1969 e 2013, as áreas mais recorrentemente estudadas nos hospitais e unidades de atendimento foram os departamentos de emergência (19%), as clínicas médicas (11%), os ambulatórios (7%), os centros cirúrgicos (6%), as farmácias hospitalares (2%), entre outros. Por fim, 3% das publicações abordavam sistemas médicos de emergência (conhecidos como SAMU no Brasil). As demais áreas, de forma muito pulverizada, complementam os estudos restantes verificados na amostra.

Continuando a análise dos artigos identificados da WSC e buscando resumizá-los em categorias de problemas, na FIG. 5 é apresentado o número de ocorrências, sendo os principais: dimensionamento, epidemias e pandemias, tempo de espera por atendimento, farmácia, fila de transplante, *layout*/arranjo físico, custos, sistemas de ambulância e triagem. Essa representação demonstra a incidência de problemas ao longo do tempo em algumas áreas estratégicas em sistemas de saúde. Os demais tipos de problema identificados não foram representados nesse gráfico por apresentarem reduzida frequência de ocorrência.

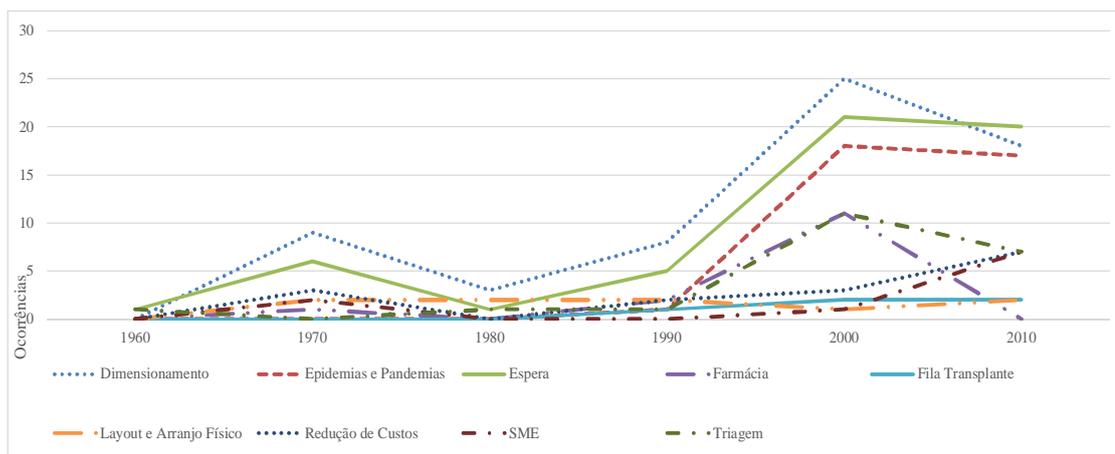


FIGURA 5 - Ocorrências por problemas em saúde ao longo do tempo

Fonte: *Winter Simulation Conference site*.

Ainda, de acordo com Roberts e England (1980), as áreas em sistemas de saúde são bastante diversificadas. As maiores demandas são verificadas nos hospitais, destacando a admissão (triagem), o planejamento das instalações, a Área de atendimento de emergência, os laboratórios, a área de radiologia, as salas de cirurgia, os serviços de enfermagem, a preparação de materiais e suprimentos, a farmácia e o banco de sangue.

Os serviços de resgate também são importantes nos sistemas de saúde, principalmente para atender com agilidade às ocorrências mais complexas, como problemas cardiorrespiratórios, traumas, queimaduras, acidentes de trânsito e outras demandas realizadas pelo SAMU (SILVA, 2010).

## 4.2 Algumas informações e definições importantes para este estudo

### 4.2.1 Um breve relato histórico do sistema de saúde no Brasil

As áreas de saúde são numerosas e de extrema importância. Esse contexto é histórico e data desde os primórdios da humanidade. Desde sempre, o ser humano buscou sistematizar e organizar as ações relacionadas à saúde, visando à sua própria sobrevivência e à melhoria de qualidade de vida da sociedade (BRASIL, 2001).

No Brasil, as tentativas de propiciar estabelecimentos de saúde minimamente estruturados começaram de forma rudimentar ainda no período imperial. No século XIX, os hospitais ainda eram tratados como instalações que serviam de depósitos de loucos e de pessoas excluídas pela sociedade da época (BRASIL, 2006).

Ainda segundo o relatório Regulação médica de emergência, disponível em Brasil (2006), a partir do século XX o país iniciou um processo acelerado de migração da população para áreas urbanas, que contribuiu para a evolução de doenças infectocontagiosas em virtude da falta de condições sanitárias (*ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD*, OPAS, 2009).

A partir da organização da classe operária ao longo das primeiras décadas do século e do desenvolvimento da industrialização, aumentou a pressão sobre os governantes para tomada de medidas que melhorassem as condições sanitárias da população. Nesse período surgiram os primeiros departamentos estaduais de saúde e no ano de 1953 foi criado o Ministério da Saúde, justificado pelo crescimento das ações de saúde pública (BRASIL, 2006).

No período do regime militar, as ações de saúde pública foram marcadas pelo caráter assistencialista da previdência. Essa política, contudo, contemplava apenas parte da população, haja vista que era necessário ter vínculo formal no mercado de trabalho para gozar seus direitos. Esse período ainda foi marcado pela criação do Instituto Nacional de Assistência Médica da Previdência Social (INAMPS) (BRASIL, 2006).

Na década de 1980 aconteceu em Brasília a Conferência Nacional de Saúde, evento de grande importância histórica. Baseado nas discussões e ações propostas nessa conferência, foi proposto na Constituição de 1988 o modelo que instituiu o Sistema Único de Saúde (SUS).

Vale ressaltar que nos últimos 40 anos o serviço de saúde no Brasil sofreu transformações significativas, passando pela formação de profissionais especializados, pelo desenvolvimento tecnológico, o crescimento da iniciativa privada na saúde e a criação do SUS. Em virtude de elementos complexos, tais como a dimensão continental do país, o baixo nível de conscientização da sociedade em relação ao direito à saúde, entre outros fatores, torna o sistema ainda pouco efetivo e parcialmente universalizado (PAIM *et al.*, 2011).

Ainda segundo Paim *et al.* (2011), é notório o desenvolvimento econômico que o país obteve ao longo das últimas décadas. A inserção de um número cada vez maior de pessoas no mercado de consumo mudou drasticamente os hábitos alimentares das pessoas e, por consequência, os hábitos de saúde também foram afetados. A demanda para a utilização do sistema de saúde para cuidar de doenças mais complexas cresceu e a população, cada vez com mais acesso à informação, pressiona as instituições públicas e

privadas para oferecerem um serviço de atenção à saúde adequado e satisfatório (BRASIL, 2010a).

#### **4.2.2 Classificação dos serviços de atendimento à população**

Segundo Gonçalves (1994 *apud* TAKEDA, 2000), os serviços urbanos de atendimento à população podem ser classificados em três grandes grupos:

- a) Serviços de rotina: têm comportamento bastante previsível, sem grandes variações. São exemplos o serviço domiciliar de coleta de lixo e o serviço de entrega de correspondências;
- b) semiemergenciais: apresentam alto grau de incerteza, mas seu não atendimento imediato não coloca a vida de pessoas em risco. Nesta categoria podem-se citar como exemplos os serviços prestados pelas companhias de energia elétrica, água e saneamento urbano;
- c) emergência: estes serviços também apresentam alto grau de imprevisibilidade e o atendimento precisa ocorrer imediatamente após a solicitação de socorro. O não atendimento compromete a eficiência do sistema e ainda coloca em risco a vítima. Podem-se citar aqui como exemplo os hospitais e unidades de pronto atendimento (UPA) e o SAMU.

De acordo com a Resolução nº 1.451/95 do Conselho Federal de Medicina (1995), urgência e emergência têm definições distintas. Define-se por urgência a ocorrência imprevista de agravo à saúde com ou sem risco potencial de morte, cujo portador necessita de assistência médica imediata. E por emergência a constatação médica de condições de agravo à saúde que impliquem risco iminente de morte ou sofrimento intenso, exigindo, portanto, tratamento médico imediato.

Para fins de padronização, as palavras urgência e emergência neste estudo serão consideradas sinônimas.

#### **4.2.3 Serviços de emergência**

De acordo com Takeda (2000), atividades de apoio à população, como polícia, bombeiros e transporte por ambulância, vêm sendo foco de vários grupos de pesquisadores

desde o início dos anos 1970 (ENGLAND; ROBERTS, 1978; FITZSIMMONS, 1971; UYENO; VERTINSKY, 1979).

Segundo o manual Urgências e Emergências, em Brasil (2001), é responsabilidade do poder público prover a sociedade de atendimento qualificado para situações de agravo à saúde ou situações que atentem contra sua integridade física. No Brasil essa estrutura é provida por entidades públicas como, por exemplo: polícia (federal, civil e militar), corpo de bombeiros, SAMU, hospitais e outras unidades de atendimento.

#### **4.2.4 Política Nacional de Atenção às Urgências**

A Política Nacional de Atenção às Urgências tem como finalidade proteger a vida das pessoas e garantir a qualidade no atendimento no SUS (Brasil, 2010a). A política tem como foco cinco grandes ações:

- a) Organizar o atendimento de urgência nos pronto-atendimentos, unidades básicas de saúde e nas equipes do Programa Saúde da Família;
- b) estruturar o atendimento pré-hospitalar móvel (SAMU);
- c) reorganizar as grandes urgências e os prontos-socorros em hospitais;
- d) criar a retaguarda hospitalar para os atendidos nas urgências;
- e) estruturar o atendimento pós-hospitalar.

#### **4.2.5 Hospitais e algumas áreas e processos estratégicos**

O Brasil tem 6.384 hospitais, dos quais 69,1% são privados. Apenas 35,4% dos leitos hospitalares encontram-se no setor público, sendo 38,7% na esfera municipal. Os médicos ocupam 61% dos empregos, os enfermeiros 13% e especialistas em saúde pública apenas 0,2% (BRASIL, 2010a).

De acordo com Borba (1998), algumas áreas são comumente abordadas na literatura científica em virtude de sua inerente complexidade e importância. São exemplos o departamento de emergência, filas de transplante, o centro cirúrgico, o banco de sangue, dentre outros.

São observados estudos nos sistemas de triagem, no dimensionamento dos centros cirúrgicos, dimensionamento de equipes médicas, análises de *layout*/arranjo físico, a

distribuição de medicamentos, as taxas de ocupação, procedimentos e consultas realizadas, entre outros (BORBA, 1998).

Existem diferentes conceituações de hospital na literatura, podendo citar Brasil (1977), Gonçalves (1989), Brasil (2001) e Louzada, Stang e Calabrez (2008).

De acordo com Gonçalves (1989), as funções de um hospital podem ser organizadas em atendimento médico e internação, prevenção, proteção e educação. Louzada, Stang e Calabrez (2008, p. 68) citam a definição da OMS:

O hospital é um elemento organizador de caráter médico-social, cuja função consiste em assegurar assistência médica completa, curativa e preventiva à população e cujos serviços externos se irradiam até a célula familiar considerada em seu meio; é um centro de medicina e de pesquisa biossocial.

De acordo com o manual Urgências e Emergências, em Brasil (2001), os hospitais são classificados como geral e especializado. Gonçalves (1989) enfatiza que um hospital tem funções restaurativas, de diagnóstico, tratamento, reabilitação, emergência, preventiva, educativa, pesquisa e geração de empregos. O porte de um hospital é definido pela sua capacidade e registra-se ainda que este pode ser de pequeno, médio e grande porte (chegando a ter mais de 500 leitos).

Um setor muito frequentado e conhecido nas unidades de saúde são os ambulatórios. Nesse setor normalmente se realiza o atendimento médico especializado em baixa e média complexidade, reunindo várias especialidades e subespecialidades. São atividades inerentes a de realizar consultas, exames diagnósticos, orientação de tratamento para várias doenças, atividades assistenciais e serviços de apoio (YAMADA, 2009).

No Brasil e em vários países no mundo, um grande desafio é reduzir a fila de espera para transplante. Segundo Marinho (2006), as filas de transplante são formadas por pessoas que por algum agravo à saúde precisam transplantar tecidos, órgãos e partes do corpo humano. Os procedimentos de transplantes ou enxertos de tecidos, órgãos ou partes do corpo humano só poderão ser realizados em estabelecimento de saúde, público ou privado, e por equipes médicas cirúrgicas de remoção e transplante previamente autorizados pelo órgão de gestão nacional do SUS (BRASIL, 2009).

As principais características verificadas na literatura acerca de sistema de fila de transplante estão relacionadas ao tempo de espera na fila pelo paciente, às diferentes priorizações necessárias por grau de urgência do transplante, às diferentes especificidades

por tipo de transplante (órgão, tecido ou parte do corpo humano), entre outros (MARINHO, 2006).

Para atender às demandas primárias urgentes e críticas que surgem a qualquer hora do dia ou da noite, vários hospitais e unidades de atendimento contam com um departamento de emergência. Nesses setores são encaminhados pacientes com agravos variados, tais como queimaduras, acidentes de trânsito com traumas, acidentes do trabalho graves, quedas, queimaduras, problemas cardíacos, entre outros (BRASIL, 2013).

Em toda unidade de saúde também é possível encontrar uma farmácia hospitalar. Algumas têm pequeno porte e basicamente são os locais onde os medicamentos são armazenados e gerenciados para atender às demandas da unidade de saúde. Para instalações maiores, um profissional denominado farmacêutico hospitalar será o responsável por gerir os processos de orientação a pacientes internados e ambulatoriais, tendo como objetivo racionalizar os custos (visto que medicamentos normalmente têm alto valor monetário) e garantir a eficácia terapêutica dos tratamentos. Os principais processos verificados são a produção, o armazenamento, o controle, a dispensação e a distribuição de medicamentos e correlatos (CONSELHO REGIONAL DE FARMÁCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010; GOMES; REIS, 2006).

Outra área estratégica em um hospital é o centro cirúrgico (ou bloco cirúrgico). Trata-se de um local no hospital, destinado especificamente para receber pacientes doentes ou feridos em estado crítico, que conta com equipamentos específicos para procedimentos cirúrgicos e mão-de-obra especializada (*NEW JERSEY HOSPITAL ASSOCIATION - NJHA*, 2002).

De acordo com Borba (1998), aplicações nessa área de simulação computacional buscam auxiliar no dimensionamento de capacidade dos centros cirúrgicos, número de procedimentos realizados por mês, dimensionamento de equipes médicas, análises de *layout*/arranjo físico, entre outros procedimentos.

Outra área importante presente nas unidades de saúde são os bancos de sangue. Para Barbosa *et al.* (2009), essa área tem como objetivo a coleta de sangue para a reposição do mesmo nas cirurgias e em uma série de enfermidades tratadas nos hospitais e centros de saúde. Segundo Marinho, Souza e Silva (2005), o banco de sangue é um setor de cadastramento de pessoas voluntárias à doação de sangue, que é regulado pelo Ministério da Saúde, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária e ainda pela Vigilância Sanitária Estadual.

Fonte (2004) opina que as principais demandas observadas nos bancos de sangue estão relacionadas à triagem de pacientes aptos a realizarem os procedimentos, determinação de pontos estratégicos para coleta, melhoria na distribuição e armazenagem, controle da perecibilidade do produto, entre outros.

#### **4.2.6 Sistema médico de emergência**

Sistemas médicos de emergência referem-se a um serviço que transporta de maneira ágil e adequada, pessoas doentes ou feridas para hospitais ou centros de saúde, contando com veículos específicos (ambulâncias), pessoal especializado (médicos, enfermeiros e socorristas) e sistema de comunicação integrado (NJHA, 2002).

Silva (2010), Pons e Markovchick (2002) e Al-Ghamdi (2002) informam que as principais demandas verificadas em um sistema médico de emergência estão ligadas à redução do tempo de atendimento às ocorrências (tempo de resposta), utilização ótima das unidades de atendimento móvel (ambulâncias) e das equipes de atendimento especializado, localização das bases de operação e ainda análise de desempenho do sistema.

Para fins de simplificação, Sistema Médico de Emergência (SME) e Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) são considerados sinônimos neste estudo.

##### **4.2.6.1 O SAMU: Serviço de Atendimento Móvel de Urgência**

O SAMU faz parte da Política Nacional de Urgências e Emergências e ajuda a organizar o atendimento na rede pública, prestando socorro à população em casos de emergência.

Com o SAMU, espera-se reduzir o número de óbitos, o tempo de internação em hospitais e as sequelas decorrentes da falta de socorro precoce. O serviço funciona 24 horas por dia, utilizando ambulâncias e equipes de profissionais de saúde que atendem a diversos tipos de urgências.

##### **4.2.6.2 Funcionamento do SAMU**

O SAMU realiza o atendimento de urgência e emergência em qualquer lugar: residências, locais de trabalho e vias públicas, contando com as centrais de regulação, profissionais e veículos de salvamento. Nas centrais de regulação ocorre o primeiro contato

com a população a partir do atendimento das ligações telefônicas. Nelas estão localizados os teledigifonistas e os médicos reguladores.

Cada ligação é atendida pelos teledigifonistas, que identificam a emergência e imediatamente transferem a ligação para o médico regulador. Esse médico realiza o diagnóstico inicial da situação e orienta quem fez a ligação.

Simultaneamente, o médico regulador também verifica qual procedimento esse paciente se enquadra. Em alguns casos mais simples, o paciente deverá procurar socorro em hospitais ou postos de saúde por conta própria. Em casos graves, uma ambulância do tipo básico é enviada até o local com um auxiliar de enfermagem e um socorrista. Para casos mais graves, uma UTI móvel é direcionada para local com um médico e um enfermeiro.

O médico regulador também tem autoridade para realizar reservas em leitos de hospitais, dependendo da gravidade do ocorrido, de maneira a garantir que não haja interrupção no processo de socorro.

A FIG. 6 representa o fluxo do processo de resgate e foi baseada no estudo de Nogueira Júnior (2011), em que é encontrada detalhada caracterização de cada etapa do processo de resgate do SAMU de Belo Horizonte.

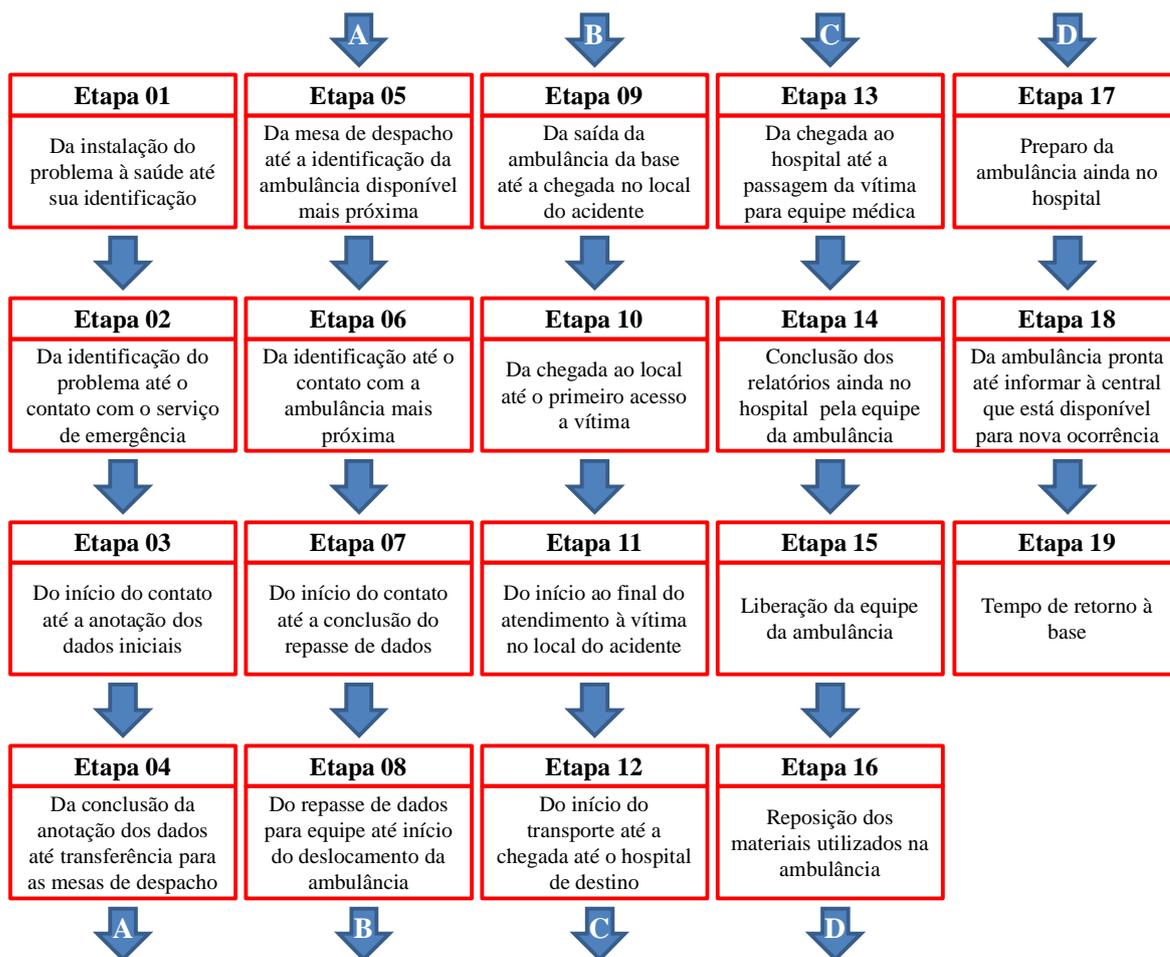


FIGURA 6 - Fluxo do processo de resgate

Fonte: Nogueira Júnior (2011).

As áreas apresentadas nesse capítulo serão melhor explicitadas na aplicação da metodologia aos problemas em estudo neste trabalho. Para cada uma das aplicações, será também realizada a contextualização do problema e da respectiva área de saúde.

## 5 AS TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL APLICADAS NESTE ESTUDO

À luz da revisão bibliográfica realizada no capítulo 2 deste trabalho, percebe-se que o estudo e aplicação das técnicas de PO em sistemas de saúde são frequentes para a melhoria da qualidade da prestação do atendimento ao paciente e na operação, na redução de custos, na otimização de recursos (leitos, salas de cirurgia, medicamentos, veículos), entre outros importantes fatores.

Registra-se neste capítulo que o número de técnicas é muito extenso e que caso alguma não seja aqui citada, não significa que é menos relevante ou importante para auxiliar as instituições a melhorarem seu desempenho. Trata-se apenas de um recorte de escopo realizado para este estudo.

Vale ainda ressaltar que, neste trabalho, apesar de terem sido analisadas diversas publicações e técnicas de PO, houve enfoque especial nas técnicas estocásticas (especialmente simulação), devido à representativa presença de variáveis aleatórias nos sistemas de saúde. As outras técnicas utilizadas (de cunho determinístico) também são amplamente verificadas na literatura, sendo utilizadas de forma independente ou em conjunto com as técnicas de simulação (tendo esta última se mostrado muito relevante em diversas aplicações).

Buscando, ainda, indícios que ratifiquem a seleção de algumas técnicas (dentro de um escopo bastante diversificado), as publicações relacionadas a sistemas de saúde da WSC foram analisadas entre os anos de 1969 e 2013. Ficou muito evidente, a partir da leitura e análise das publicações, a efetividade do uso de algumas técnicas de simulação, destacando: a) simulação à eventos discretos (utilizada em 33% das publicações); b) simulação baseada em agentes (presente em 8% dos artigos); c) dinâmica de sistemas (verificada em 2%). Quanto as demais técnicas (associadas ao uso da simulação), foram identificadas em pelo menos 10% dos artigos analisados. Das diversas técnicas observadas, duas se destacaram, sendo: localização de facilidades e teoria das filas.

Considerando as publicações analisadas, em quase metade dos casos alguma das cinco técnicas citadas anteriormente foi aplicada, seja de forma independente ou de forma integrada. Nos departamentos de emergência, por exemplo, uma área crítica em qualquer sistema de saúde, mais de 70% das publicações se valeram das técnicas de simulação à eventos discretos e/ou SBA para auxílio na resolução de variadas demandas.

Aplicações em centros cirúrgicos, ambulatoriais e filas de transplante indicam, respectivamente, em 57, 61 e 67% dos casos, a utilização de SED, obtendo resultados significativos. Em SME nota-se que técnicas integradas (conciliando técnicas de simulação e otimização, por exemplo) são bastante verificadas, chegando a representar cerca de 70% dos casos.

A abordagem de forma integrada, conciliando duas ou mais técnicas, para resolução de problemas foi observada com elevada incidência nas últimas edições do congresso. Nos últimos anos, foi publicada uma série de artigos com problemas resolvidos com técnicas de PO utilizadas em conjunto.

Como exemplo, Housseman *et al.* (2009) utilizaram de forma integrada SED e dinâmica de sistemas. Schwaab e Freitas Filho (2009) conciliaram o uso de dinâmica de sistemas e linguagem geral. Djanatliev e German (2013) integram SED, SBA e dinâmica de sistemas. Wang, McKay e Jewer (2013) em um departamento de emergência trabalharam com SED. Nogueira, Pinto e Silva (2014), na aplicação em um SME realizaram a modelagem do sistema de localização de bases e alocação de ambulâncias via localização de facilidades e testaram os cenários em um modelo de SED para avaliar a redução do tempo de resposta do serviço prestado.

### **5.1 As técnicas de simulação abordadas neste estudo**

De acordo com Ozcan (2009), métodos quantitativos são comumente aplicados em sistemas de gestão em saúde. Quanto maior a complexidade do sistema em estudo (filas, redes de distribuição, estoques, readequações de *layout*, entre outros), mais robusta deverá ser a técnica, ferramenta ou método.

Desde a década de 1960 percebe-se acelerada evolução dos métodos de resolução de problemas; e com a modelagem e a simulação não foi diferente. A evolução tecnológica permitiu que as técnicas fossem rapidamente aprimoradas e desenvolvidas, permitindo sua utilização para resolução de problemas cada vez mais complexos (DAHL; MYHRHAUG; NYGAARD, 1968).

As técnicas de simulação são abrangentes e precisam ser aplicadas com critério para se alcançar o resultado esperado. Os problemas, quando estudados, não oferecem, muitas vezes, um direcionamento de qual técnica de simulação se deve utilizar. Esse trabalho é do analista e precisa ser realizado com muito critério (PIDD, 2012).

Segundo Chwif e Medina (2007), a simulação pode ser classificada em três categorias: estática, contínua e à eventos discretos. Ainda citando os mesmos autores, a simulação pode ser categorizada em computacional e não computacional. Em virtude da complexidade inerente dos sistemas reais, a simulação computacional é, sem dúvida, a técnica comumente utilizada. A partir da elaboração de modelos, espera-se reproduzir a realidade dos sistemas em um ambiente computacional e a partir dele simular cenários.

A evolução da simulação computacional se dá de forma extraordinária a partir do desenvolvimento de computadores mais baratos, mas rápidos e menores, o que permitiu que não especialistas da ciência da computação pudessem utilizar simuladores e integrar essa técnica na rotina das organizações (PIDD, 2004).

Pidd (2004) registra também que realizar experimentos de forma direta (no mundo real) seria inviável em inúmeras situações. Desta forma, são várias as justificativas para utilização da simulação computacional, destacando-se o controle de custos e do tempo, a possibilidade de replicar um experimento muitas vezes, tudo isso sem infringir legislações, leis ou colocando em risco vidas humanas e recursos materiais.

### **5.1.1 O processo de tomada de decisão**

Para Banks *et al.* (2009), a tomada de decisão pode ser definida como um processo de escolha de determinado plano de ação em detrimento de outros para uma situação ou problema, considerando diversificados cenários, variáveis e interferência do ambiente.

O processo de tomada de decisão é um elemento inerentemente complexo para o gestor, seja em instituições públicas ou privadas. Sabe-se que um gestor toma muitas decisões diariamente e estas interferem diretamente no sucesso ou fracasso de um negócio.

Algumas das decisões tomadas levam consigo elevado grau de subjetividade e normalmente o gestor usa de sua experiência e intuição para decidir por qual caminho seguir. Ocorre que determinadas decisões são inerentemente complexas e dificilmente um gestor (ou um grupo de gestores) conseguiria tomar uma decisão sem lançar mão de um estudo mais aprofundado, considerando a utilização de técnicas computacionais (LAW, 2007).

Neste sentido, Pidd (2004) infere que técnicas essencialmente qualitativas ou com alto grau de subjetividade podem não ser capazes de trazer todas as informações necessárias para o adequado processo de tomada de decisão.

Corroborando essa temática, Guedes (2001) menciona que a decisão de utilizar a simulação como técnica para auxiliar o gestor a solucionar problemas se dará em função das características do próprio problema em estudo. Situações em que há aleatoriedade e interdependência (o que ocorre em A afeta B) são fortes indícios de que a simulação será a melhor técnica a ser utilizada. A FIG. 7 representa de maneira intuitiva quando a simulação torna-se uma técnica adequada.

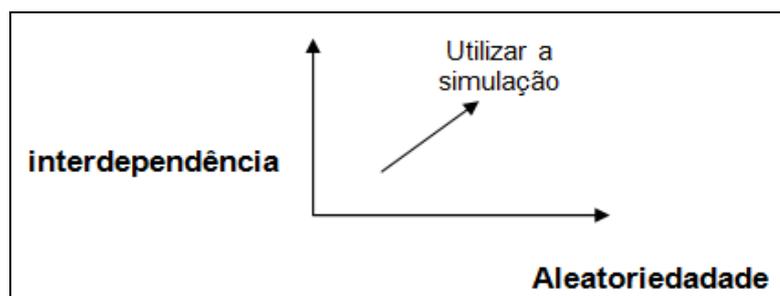


FIGURA 7 - Quando utilizar a simulação?

Fonte: Guedes (2001).

Para Harrel (2002), a simulação é uma poderosa ferramenta para tomada de decisão, que somada à experiência dos tomadores de decisão contribui significativamente para a solução de situações e problemas complexos.

Contar com uma técnica capaz de prover informações detalhadas, considerando a complexidade de sistemas (de manufatura, sistemas de transporte, saúde etc.), como é verificado na utilização de técnicas de simulação, torna-se uma considerável vantagem competitiva (BANKS *et al.*, 2009).

### 5.1.2 Definição e componentes de um sistema

Miyage (2006) descreve que um sistema é definido como um grupo de objetos que estão agregados de acordo com uma relação de interdependência para atingir certos objetivos.

Para se estudar e utilizar um sistema, é necessário o conhecimento prévio de alguns termos. De acordo com Oliveira (2001), têm-se:

- a) Sistema: conjunto de partes que se integram para um objetivo comum.
- b) Entidade: são objetos que requisitam serviços (exemplo: usuários em uma fila de banco).

- c) Atributo: informações que caracterizam uma entidade em particular (exemplo: o modelo de um item a ser produzido).
- d) Processo: ações realizadas sobre a entidade ao longo da simulação.
- e) Recursos: objetos que provêm serviços às entidades (exemplo: máquina em uma linha de produção).
- f) Atividade: operação que, para ser executada, consome algum tempo.

### **5.1.3 Definição de modelo**

Um modelo é considerado uma abstração da realidade, aproximando-se do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples do que o sistema real (LAW, 2007). Na literatura, diversos tipos de modelos foram desenvolvidos e aplicados. Chwif e Medina (2007) dividem em três tipos principais, sendo:

- a) Modelos simbólicos, icônicos ou diagramáticos.
- b) Modelos matemáticos ou analíticos.
- c) Modelos de simulação.

### **5.1.4 Método geral de simulação**

O método de simulação, representado na FIG. 8, foi proposto por Law (2007) e passa pelas etapas de formulação do problema e planejamento do estudo, que é uma fase de concepção e delimitação de escopo. Em seguida, coletam-se os dados e define-se o modelo conceitual do problema. Na fase seguinte, um modelo computacional deverá ser proposto e testes de verificação e um projeto-piloto deverão ser realizados a fim de validar o modelo. Após a validação é realizado o planejamento de experimentos e executadas as rodadas de simulação, com os testes de cenários que forem necessários. Por fim, os resultados deverão ser analisados, os melhores cenários selecionados e, finalmente, realizam-se a implementação do modelo e a documentação do processo.

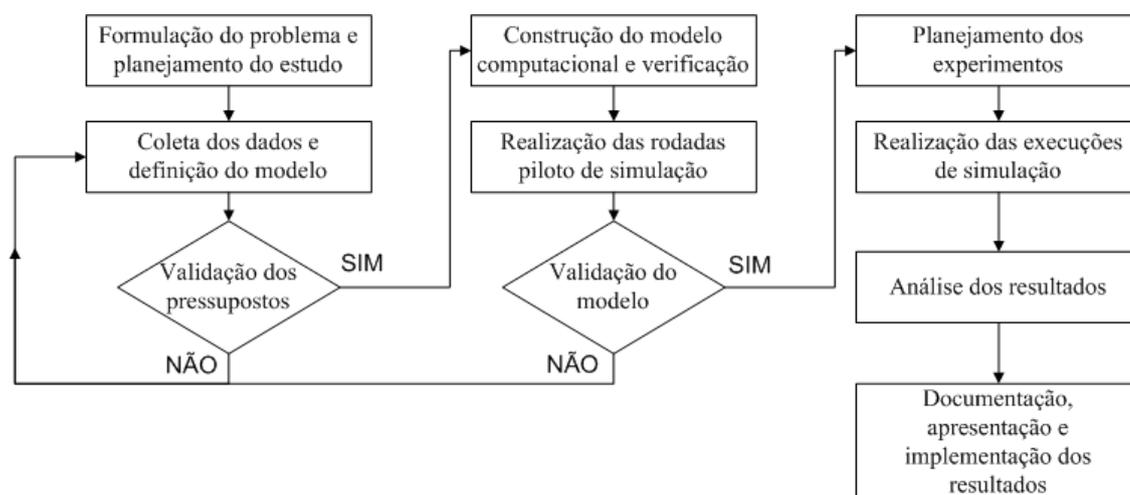


FIGURA 8 - Método geral da simulação

Fonte: adaptado de Law (2007).

Em seguida, serão detalhadas três técnicas de simulação entre as mais utilizadas na academia e mercado para estudo e resolução de problemas, sendo: a) simulação à eventos discretos; b) simulação baseada em agentes; c) dinâmica de sistemas.

### 5.1.5 Simulação à eventos discretos

De acordo com Robinson (2005), a simulação à eventos discretos (SED) tornou-se uma técnica extremamente popular, principalmente depois da evolução computacional. A SED demonstrou ser uma poderosa ferramenta para concepção e detalhamento de novos projetos, bem como para proposição de cenários para situações já existentes. Carson (2005) expressou que a condução de projetos utilizando simulação é ao mesmo tempo fazer ciência e fazer arte.

#### 5.1.5.1 Histórico

Em 1962, os pesquisadores Kristen Nygaard, Bjorn Myhrhaug e Ole-Johan Dahl deram início a um projeto chamado Simula, que tratava do desenvolvimento da primeira linguagem de SED (DAHL, 2002). De acordo com Dahl, Myhrhaug e Nygaard (1968), inicialmente foi desenvolvida a linguagem Simula I, que era específica de simulação e permitia completa e precisa descrição de sistemas por eventos discretos. Essa linguagem

considerava uma coleção de programas que interagiam paralelamente e foi usado até o início do ano de 1965.

Ainda no ano de 1965, surgiu o Simula 67, que foi a evolução da linguagem anterior e aos poucos foi se tornando a linguagem geral de problemas orientado a objetos. Sua principal novidade foi a introdução do conceito de classe, que trouxe a lógica de agrupar declarações e procedimentos em uma única entidade (DAHL; MYHRHAUG; NYGAARD, 1968).

A nova linguagem foi ganhando força com a sua utilização, que era de certa forma limitada pelo alto custo. Com o passar do tempo, a evolução dos computadores e aceitação da lógica orientada a objetos permitiu grande evolução dos sistemas, principalmente a partir da década de 1980 (DAHL, 2002).

#### 5.1.5.2 Método

Para Chwif e Medina (2007), o desenvolvimento de um modelo de simulação é composto de três etapas macro, sendo: a) concepção ou formulação do modelo; b) implementação do modelo; c) análise dos resultados do modelo. A FIG. 9 traz de forma esquemática uma metodologia proposta também pelos mesmos autores, considerando as fases a serem realizadas em cada uma das três etapas macro.

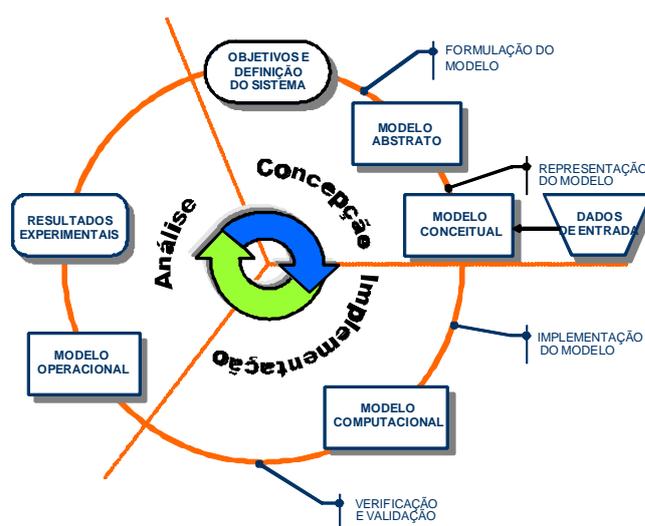


FIGURA 9 6 Metodologia de simulação

Fonte: adaptado de Chwif e Medina (2007).

Na etapa de concepção, o problema a ser modelado deve ser investigado a fim de identificar suas principais características e variáveis. Outra etapa fundamental nesse momento é a análise de dados, que subsidiará a construção do modelo conceitual e futuramente a modelagem computacional. Na fase de implementação, o foco é o modelo computacional. Esse modelo deverá refletir as principais informações detalhadas na modelagem conceitual que, por sua vez, resultará no contexto real do problema em estudo, considerando-se obviamente as restrições de um ambiente computacional. Na terceira e última etapa de análise, o modelo deverá ser testado exaustivamente e cenários propostos. Com base nos cenários que melhor refletirem soluções para o problema em estudo, estes deverão ser utilizados no processo de tomada de decisão dos gestores.

#### 5.1.5.3 Ferramentas computacionais

De acordo com Miyage (2006), as linguagens de simulação em computador facilitam o desenvolvimento e execução de modelagem de sistemas complexos do mundo real. Alguns exemplos de linguagem são GPSS, SIMAN V, SIMSCRIPT II.5, SLAM II. Os pacotes de simulação orientada a objetos são os mais difundidos em simulação computacional. Como existe uma série de aplicações específicas e com diferentes complexidades, alguns *softwares* têm sido desenvolvidos para atender a esses casos. Miyage (2006) preleciona que os *softwares* mais representativos são Arena, AutoMod, ProModel / MedModel, Simfactory II.5, Taylor II e Witness. Pode-se ainda citar outros pacotes comerciais, tais como Flexsim, Anylogic e Simio.

#### 5.1.5.4 Aplicações

Aplicações da SED são amplamente encontradas na literatura, como, por exemplo, em agências bancárias, hospitais, aeroportos, portos, serviço de saúde e emergência, distribuidoras, atacadistas, indústrias automobilísticas, siderúrgicas, empresas de mineração, entre outros (PIDD, 2004). Ingalls (2008) reconhece que um ponto forte da SED consiste na possibilidade de simular um sistema real em um ambiente computacional controlado e isso explica sua aplicabilidade em diversas áreas.

Law (2007) detalha que para que o modelo computacional reflita as demandas iniciais e gere os resultados adequados, é necessário que os envolvidos entendam claramente o sistema que está sendo simulado suas limitações, particularidades e objetivos.

Para Sánchez (2007), não compreender bem o sistema a ser simulado ou negligenciar alguma etapa do método de simulação estão entre as maiores causas de insucesso na aplicação da SED. Além de conhecer bem o sistema, detalhada modelagem conceitual e exaustivos testes de cenários também contribuem decisivamente para o sucesso do trabalho.

É notória a contribuição positiva trazida pela SED em diversas áreas do conhecimento, inclusive com inúmeras contribuições à área da saúde. Ocorre que a ferramenta tem algumas limitações e estas devem ser conhecidas para serem mitigadas. Lowery (1996) descreve algumas restrições da SED, sendo as principais:

- a) A simulação não traz a resposta ótima para o problema;
- b) os modelos de simulação, obviamente, não conseguem prever o futuro;
- c) a simulação não conseguirá trazer todas as respostas para o problema em estudo.

#### **5.1.6 Simulação baseada em agentes**

A Simulação Baseada em Agentes (SBA) norteia-se no fundamento de que um sistema é muito maior que a simples soma de suas partes ou de seus processos. Desta forma, a SBA se configura como uma ferramenta que auxilia gestores a entender o comportamento de sistemas (empresa), por exemplo, e como interagem interna e externamente (GILBERT; TROITZSCH, 2008).

Conforme North e Macal (2007), na SBA o objetivo principal é produzir agentes que em um nível primário interagem com outros agentes. Com base nessas interações, esses agentes tomam decisões e interagem com o sistema. Com a SBA, pretende-se representar o comportamento de um sistema real em um modelo, quase sempre computacional.

Tradicionalmente, na simulação é realizada a modelagem de um processo que vai atuar sobre as entidades. Na SBA o foco é diferente e muda para a programação dos agentes em si. Desta forma, o que é modelado são as atividades dos agentes, ou seja, as atividades dos equipamentos, das pessoas, dos veículos, etc.

Com essa mudança na modelagem, agentes autônomos podem se adaptar a situações imprevistas (influenciadas por outros agentes e até mesmo pelo ambiente em que está inserido), permitindo a eles fazerem escolhas e tomar decisões com certo grau de racionalidade (BARROS *et al.*, 2011).

Essa mudança na concepção da modelagem permite ao pesquisador simular sistemas com alto grau de fidelidade ao sistema real. Contudo, para se alcançar resultados relevantes, o esforço e a complexidade do estudo aumentam significativamente.

Davidsson (2002) reporta que a SBA surge da interseção das áreas de simulação computacional e métodos computacionais baseados em agente. O terceiro elemento que intercepta as duas áreas diz respeito à área ou sistema em estudo. A FIG. 10 representa graficamente essa correlação.

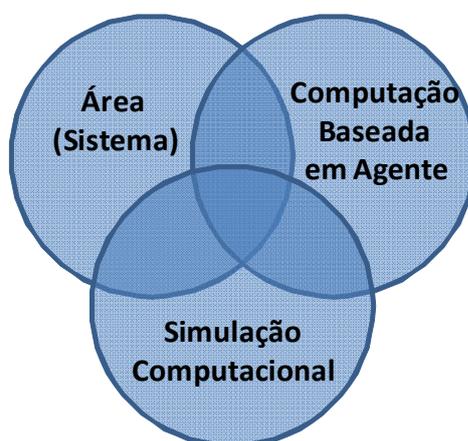


FIGURA 10 - Simulação baseada em agentes

Fonte: adaptado de Davidsson (2002).

De acordo com North e Macal (2007), a SBA pode ser utilizada nos níveis de gerenciamento operacional, tático e estratégico. Isso que determinará o sucesso da ferramenta, entre outras coisas, será o horizonte de tempo que se tem para modelagem e ainda o nível de conhecimento do sistema em estudo.

#### 5.1.6.1 Histórico

A SBA tem sua origem na necessidade de estudos de sistemas adaptativos complexos (*Complex Adaptive Systems*), que por sua vez fora criado para investigar sistemas biológicos emergentes. A partir da difusão do método, áreas como *System*

*Science, Complexity Science, Computer Science, Management Science e Social Science* vêm contribuindo com técnicas e aplicações da SBA (NORTH; MACAL, 2007).

O desenvolvimento da SBA tem ocorrido rapidamente. North e Macal (2007), Macal e North (2005), Macal e North (2006) e Macal e North (2007) listam algumas áreas de aplicação em que é possível verificar resultados expressivos, sendo:

- a) Desenvolvimento otimizado de projetos para negócios e organizações;
- b) operações e manufatura;
- c) gerenciamento da cadeia de suprimentos;
- d) gerenciamento de recursos;
- e) criação de empreendimentos com acessibilidade e rotas de evacuação;
- f) estudo do comportamento de multidões em grandes eventos;
- g) mercados financeiros;
- h) geração de energia.

#### 5.1.6.2 Método

Para implementar uma modelagem baseada em agente, North e Macal (2007) sugerem que o trabalho seja dividido em duas fases. Uma primeira fase, chamada de desenvolvimento, conta com as etapas prototipagem, concepção arquitetônica, definição do agente e das regras, análise do comportamento do agente, implementação, verificação e validação. E, ainda, uma segunda fase de aplicação tem as etapas de desenho experimental, base de dados, execução do modelo, análise dos resultados e apresentação dos resultados. A FIG. 11 apresenta de forma esquemática o processo descrito.

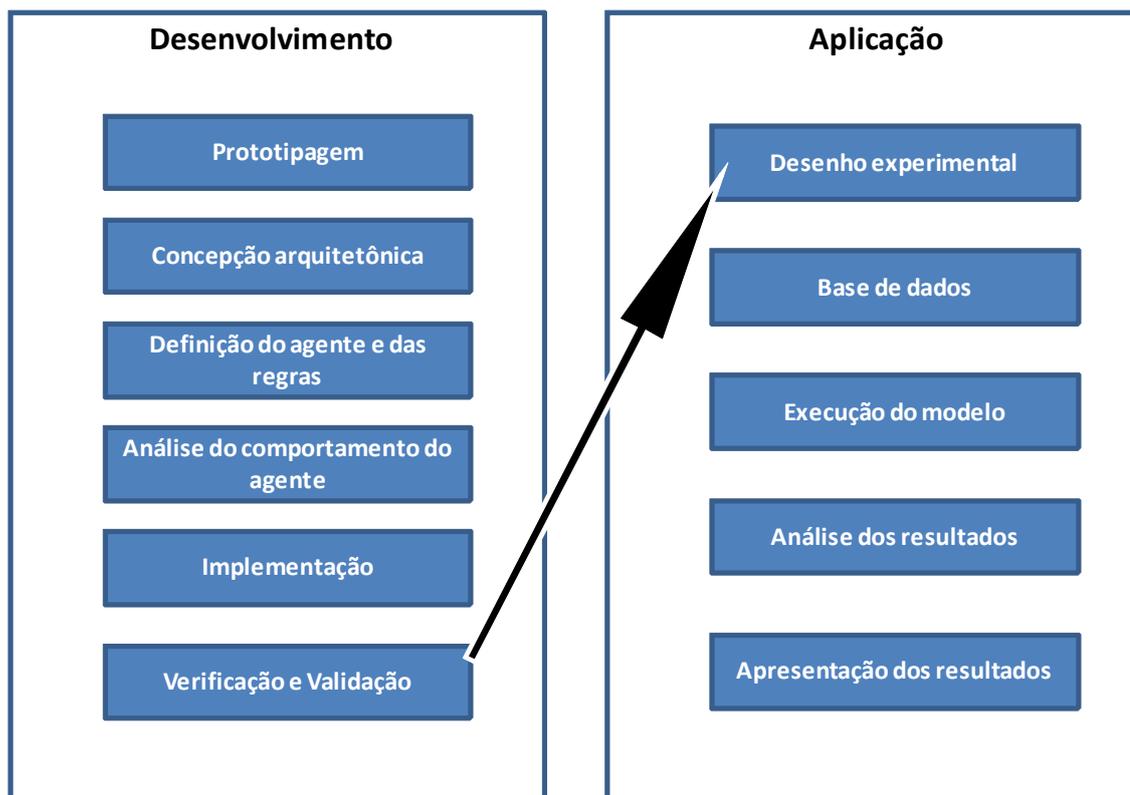


FIGURA 11 - O processo de simulação e modelagem baseada em agente

Fonte: adaptado de North e Macal (2007).

#### 5.1.6.3 Ferramentas computacionais

Os pacotes computacionais ou *toolkits* mais frequentemente citados na literatura são o *Repast*, desenvolvido pela *Chicago University*, o *Swarm*, desenvolvido pelo *Santa Fe Institute*, os ambientes educacionais *NetLogo* e *StarLogo* e o *AnyLogic* criado pela *XJ Technologies* (MACAL; NORTH, 2005; MACAL; NORTH, 2006; MACAL; NORTH, 2007; NORTH; MACAL, 2007; SAKURADA; MIYAKE, 2009). Barros *et al.* (2011) complementam que, apesar de serem conceitualmente diferenciados, os referidos *toolkits* formam o conjunto de *softwares* para criação de ambientes e simulação de agentes mais utilizados.

Pidd (2008) e Gilbert e Banks (2002) ó estes últimos dois dos precursores da SBA ó defendem que, com o expressivo desenvolvimento tecnológico vivenciado nos dias atuais, modelagens, algoritmos e pacotes computacionais serão desenvolvidos e permitirão que uma gama cada vez maior de estudantes, pesquisadores e profissionais utilizem a técnica.

Ainda segundo esses autores, haverá grande salto na utilização da SBA a partir do momento em que pacotes (com rotinas padronizadas, como já é comum nos pacotes

estatísticos) não necessitem de conhecimentos avançados em programação de computadores e se tornarem mais amigáveis ao usuário comum.

#### 5.1.6.4 Aplicações

North e Macal (2007) orientam sobre quando utilizar SBA, sendo as principais aplicações:

- a) Quando o problema representado tem interação natural entre os agentes;
- b) quando existem decisões e comportamentos que podem ser definidos discretamente, desde que os escopos estejam bem definidos;
- c) quando é necessário que agentes se adaptem ou mudem seu comportamento;
- d) quando é importante que o agente tenha capacidade de aprender e de se engajar em situações estratégicas;
- e) quando relacionamentos entre agentes sejam necessários, tanto na criação dessas relações, quanto na separação desses agentes;

Barros *et al.* (2011) afirma que existem centros de pesquisa e institutos especializados aplicando SBA. Como exemplo, pode-se citar:

- a) *Massachusetts Institute of Technology Media Lab;*
- b) *North American Association for Computational Social and Organizational Sciences (NAACSOS);*
- c) *Santa Fe Institute;*
- d) *University of Chicago and Argonne National Laboratory;*
- e) *University of California;*
- f) *Los Angeles (University of California - UCLA);*
- g) *Northwestern University's Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling;*
- h) *Carnegie Mellon University;*
- i) *University of Michigan;*
- j) *University of Surrey Centre for Research on Social Simulation.*

### 5.1.7 Dinâmica de sistemas

Tomar decisões com base na experiência profissional ou de forma empírica faz parte da rotina de gestores. Mas além de aspectos subjetivos, atualmente o gestor sabe que precisa se cercar de técnicas, ferramentas e métodos científicos que diretamente elevarão a qualidade e precisão do complexo e dinâmico processo de tomada de decisão do qual ele é responsável.

Dinâmica de Sistemas (ou *System Dynamics*), cujo conceito original foi apresentado pelo Professor Jay Forrester a partir da década de 1950 no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), formou um novo campo de estudo, que segundo Roberts (1983) é uma das variantes da abordagem sistêmica.

Segundo Oliveira, Novaes e Dechechi (2003), *System Dynamics* é uma metodologia fundamentada em conceitos matemáticos e processos não lineares, desenvolvida inicialmente por físicos e matemáticos e consolidada na Engenharia. É utilizada largamente para analisar sistemas complexos com base em ferramentas computacionais.

Simular um sistema utilizando dinâmica de sistemas é uma maneira eficiente de modelar o comportamento sistêmico, utilizando-se de uma abordagem macroscópica (PIDD, 2004). Dinâmica de sistemas está menos concentrada nos detalhes (como, por exemplo, a SED) e mais focada em identificar como as estruturas de um sistema afetam seu comportamento.

Partindo da premissa de que um sistema é uma coleção de elementos que interagem de forma contínua e produzindo variações, a metodologia *System Dynamics* visa a auxiliar o processo de compreensão de sistemas complexos, propiciando um processo de tomada de decisão mais adequado (OLIVEIRA; NOVAES; DECHECHI, 2003).

De acordo com Vilella (2005), a dinâmica de sistemas (DS) permite a identificação das seguintes características básicas de qualquer sistema:

- a) **Relação de causa e efeito:** identificar os elementos causais fundamentais de um problema quase sempre não é tarefa trivial. Mesmo quando um corpo de profissionais qualificados está empenhado em analisar uma situação-problema complexa, encontrar uma solução que mitigue definitivamente as causas do problema não é tarefa fácil. Neste sentido, utilizar a DS é interessante, pois a técnica permite a construção de gráficos de relações causais em que se procura delimitar e

pesquisar quais as relações de causa e efeito existem entre os elementos de um sistema.

- b) **Tempos de resposta:** o tempo de resposta é um fator-chave para o adequado funcionamento de um sistema. Nenhuma melhoria pode ser considerada um sucesso caso tenha tempo de implementação longo demais. Sendo assim, controlar essa variável tem importância fundamental. A utilização da técnica de DS permite, entre outras coisas, explicitar e observar os tempos de resposta do sistema em estudo.
- c) **Efeitos de realimentação:** em sistemas complexos, em que decisões produzem interferências locais e globais, reagir em tempo hábil é uma prática muito recomendada. Desta forma, é necessária constante vigília sobre o sistema em estudo. À medida que decisões importantes são tomadas (que produzam impactos locais ou globais no sistema), contramedidas devem ser propostas para que as interferências sejam minimamente percebidas. Esse processo é contínuo e não linear, ou seja, as respostas de saída influenciam as novas entradas do sistema, favorecendo assim um processo de melhoria continuada.

#### 5.1.7.1 Histórico

Radzicki e Taylor (1997) reportam que, após trabalhar em iniciativas para a II Guerra Mundial, Marinha Americana e Sistema Aéreo de Defesa, Jay W. Forrester percebeu que existiam elementos comuns que ligavam a Engenharia e a Gestão (FORRESTER, 1961).

A partir da aplicação do método de forma bem-sucedida por Forrester em uma fábrica da *General Electric*, houve mudança de foco de aplicação da DS. Em conjunto com seu grupo de estudantes de pós-graduação, a metodologia ganhou forma. Especialistas em computação, como Richard Bennet, Phyllis Fox e Alexander Pugh, desenvolveram os primeiros sistemas computacionais voltados para a DS. No ano de 1961, Jay W. Forrester publicou o livro *Industrial Dynamics*, considerado até os dias de hoje um clássico (RADZICKI; TAYLOR, 1997).

Outras obras sucederam a primeira publicação, levando aplicações de *System Dynamics* (SD) aos ambientes não corporativos. Duas importantes obras são *Urban Dynamics*, de 1968, e *World Dynamics*, de 1970. Atualmente, a DS é aplicada em extensa gama de problemas nos mais variados sistemas (GAVIRA, 2003).

### 5.1.7.2 Método

De acordo com Sterman (2000), o passo-a-passo do processo de modelagem é composto pelos seguintes tópicos:

a) Definição do problema (escopo)

- Seleção do tema: qual é o problema? Por que este é o problema?
- Variáveis-chave: quais são as variáveis-chave a serem consideradas?
- Horizonte de tempo: quanto tempo futuro e quanto tempo no passado deverão ser considerados na análise?
- Definição do problema: qual o comportamento das principais variáveis nos eventos passados? Como seria esse comportamento no futuro?

b) Formulação das hipóteses dinâmicas

- Formulação da hipótese inicial;
- Mapeamento:
  - i. Definição dos modelos;
  - ii. diagramas de subsistemas;
  - iii. modelos causais;
  - iv. modelos de estoque e fluxo;
  - v. diagramas de estrutura estratégica;
  - vi. outras ferramentas.

c) Formulação do modelo de simulação

- Especificação da estrutura, regras de decisão;
- estimação de parâmetros, condições iniciais, comportamento entre as partes;
- testes para verificar a consistência da modelagem;

d) Testes

- Comparação dos modelos: como o modelo ou como os modelos reproduzem de forma mais adequada o sistema em análise?
- Análise de robustez do modelo: qual modelo reproduz o sistema em análise, mesmo em condições severas?

- Sensibilidade: qual o comportamento do modelo quando os parâmetros não estão bem calibrados? Quando o escopo não está claro? etc.

e) Avaliação e proposição de políticas

- Especificação de cenários: como questões externas ao modelo podem surgir e causar interferências?
- Análise: E se...? Quais seriam os efeitos com interferência de algumas situações?
- Análise de sensibilidade: qual política se demonstra ideal quando se comparam e analisam diversos cenários?
- Interação das políticas: as políticas podem interagir? Existem respostas sinérgicas ou compensatórias?

Ainda para Sterman (2000), um modelo está em constante mutação, com contínuos testes, questionamentos e refinamentos. Desta forma, um modelo nunca deve ser visto como uma sequência de passos, apesar do processo de modelagem ser apresentado desta forma. A FIG. 12 representa a interatividade do processo de modelagem, em que cada etapa interfere na outra, provocando um processo contínuo de mudança.

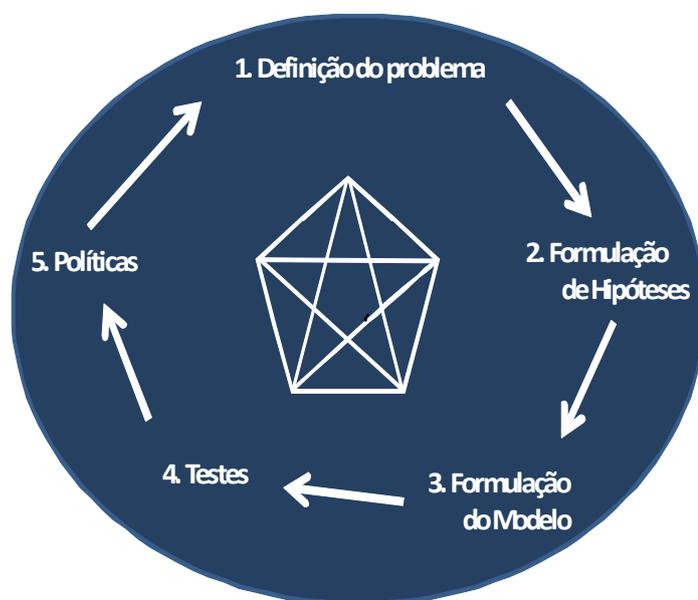


FIGURA 12 - O processo iterativo da modelagem

Fonte: adaptado de Sterman (2000).

Além do processo interativo do próprio processo de modelagem, é fundamental considerar que o modelo em si relaciona-se a diversos fatores externos a ele. Podem-se destacar as questões do sistema real (ou chamado mundo real), as realimentações do sistema (*feedback*), as regras do processo de tomada de decisão que vai sendo realizado continuamente em nível operacional e estratégico, entre outros fatores.

### 5.1.7.3 Ferramentas computacionais

Vilella (2005) apresenta para a modelagem via DS duas abordagens fundamentais. Uma, qualitativa, baseada em modelos causais; e outra, baseada na abordagem quantitativa, denominada modelagem de estoque e fluxo.

De maneira resumida, pode-se dizer que os modelos causais, a partir da visão de cada observador envolvido no processo, servem para explicitar as relações de causa e efeito, bem como descrever a situação-problema. Os modelos de estoque e fluxo seguem a mesma lógica geral dos modelos causais, apresentando como diferença fundamental a utilização de fórmulas lógicas-matemáticas para expressar suas relações.

A modelagem via DS usualmente é representada por processos de alimentação e realimentação, que considera estoque (*stocks*), fluxo de processos (*flow*) e atrasos (*delays*), determinando a dinâmica do sistema (STERMAN, 2000).

Para realizar a modelagem computacional, o pesquisador tem considerável gama de *softwares* no mercado, tanto os comerciais como os livres. Alguns exemplos de sistemas utilizados para modelagem de sistemas dinâmicos são:

- a) *Dynamo (Dynamic Modelling)* ó o primeiro sistema para *System Dynamics*;
- b) *Forio Web SD Tools Sphinx SD Tools*;
- c) *iThink/STELLA SD Tools*;
- d) *Powersim SD Tools TRUE (Temporal Reasoning Universal Elaboration)*;
- e) *Sphinx SD Tools*;
- f) *Vensim*;
- g) *WlinkIT SD Tools*.

Para alguns desses sistemas existe licença gratuita e para outros há a disponibilização de uma versão de estudante ou *trial* com acesso limitado.

#### 5.1.7.4 Aplicações

A DS pode ser aplicada em qualquer sistema, como apregoa Stermann (2000). São verificados casos de sucesso na área de saúde para auxílio de tratamentos de diabetes e SIDA, em aplicações militares, na indústria de aeronaves, automobilística, como também na área pública, entre outras.

### 5.2 As demais técnicas abordadas neste estudo

Outras técnicas são largamente utilizadas para a solução de problemas em variadas aplicações. A programação matemática, por exemplo, é amplamente utilizada, principalmente modelos de localização de facilidades e alocação de recursos, roteirização e sequenciamento. Na área da saúde, em virtude da complexidade dos problemas para localizar facilidades, identificar rotas ideais, reduzir filas e estoques, entre outros problemas, propiciam a utilização destas técnicas em várias áreas (BRANDEAU, 2004; DASKIN; DEAN, 2004; NOGUEIRA JÚNIOR; PIERSKALLA, 2004; PINTO; SILVA, 2014).

Desta forma, duas outras técnicas de PO foram observadas de forma bastante significativa e também serão contempladas neste estudo. A principal justificativa para essa escolha se dá em virtude da boa adesão que apresentam para a resolução de problemas em sistemas de saúde. São elas: teoria das filas (*Queuing theory*) e localização de facilidades (*Facility Location*).

#### 5.2.1 Teoria das filas

A teoria das filas é um método analítico que aborda o assunto por meio de fórmulas matemáticas, onde se estudam as relações entre a demanda e a capacidade de processamento do sistema, gerando medidas de desempenho (HIDEKI *et al.*, 2006). De acordo com Moreira (2007), a teoria das filas é um corpo de conhecimentos matemáticos aplicado ao fenômeno das filas. Essa área do conhecimento buscará reduzir ou eliminar desperdícios de tempo e de recursos (materiais ou não), de maneira a tornar o sistema um estudo mais eficiente (HILLIER; LIEBERMAN, 2009).

Fogliatti e Mattos (2007) relatam que determinar algumas medidas de desempenho, tais como o tempo médio de um usuário em uma fila, seu tempo total de permanência no sistema, o tamanho médio da fila, o tempo de atendimento de cada usuário, a taxa de ociosidade dos atendentes, entre outros, é fundamental em sistemas como bancos, supermercados, repartições, sistemas de saúde, indústrias, transportadoras, aeroportos, praças de pedágio, entre outras aplicações.

#### 5.2.1.1 Histórico

O precursor da teoria das filas foi o matemático, estatístico e engenheiro dinamarquês Agner Krarkup Erlang (que viveu entre 1878 e 1929), aplicando os conceitos inicialmente na área de tráfego nos sistemas de chamadas telefônicas da empresa *Copenhagen Telephone Company*. Outras aplicações práticas com a nova teoria só começaram a ser utilizados a partir da década de 1950, quando se envolveram as mais diversas áreas do conhecimento (CARRIÓN, 2007).

#### 5.2.1.2 Método

Uma fila é composta de elementos de uma população, podendo ser finita ou infinita. Da população surgem os clientes, que formam o que se chama de processo de chegada, que é quantificado pela taxa média de chegada e representado pela letra grega  $\lambda$  ou pelo intervalo de tempo entre chegadas sucessivas. Outro processo importante é o atendimento, realizado por servidores (que pode ser único), quantificado pelo ritmo médio de atendimento  $\mu$  e pelo tempo ou duração média do serviço de atendimento (TA) (HIDEKI *et al.*, 2006).

Um sistema de filas pode ser definido de forma genérica e simplificada, como na FIG. 13 que, representa um fluxo de atendimento de um posto de combustíveis.

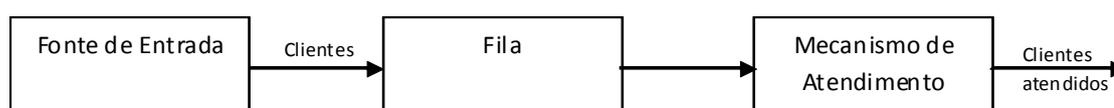


FIGURA 13 - Representação de um sistema com filas

Fonte: adaptado de Hillier e Lieberman (2009).

Esse sistema de fila consiste em um tipo de sistema que tem uma ou mais fontes de entrada, onde os clientes são recebidos. Sempre que o fluxo de atendimento é inferior ao fluxo de chegada, forma-se uma fila. Após realizado o atendimento, o cliente deixa o sistema (HILLIER; LIEBERMAN, 2009).

A disciplina de atendimento em um sistema de filas é um outro aspecto importante. O mais utilizado é chamado *first in ó first out* (FIFO) ou primeiro que entra ó primeiro que sai (PEPS), que leva em consideração a ordem de chegada. Uma outra abordagem é a *last in ó first out* (LIFO) ou último que entra ó primeiro que sai (UEPS), em que o último a entrar é o primeiro a sair. Outras duas abordagens são prioridade de serviço, existindo um mecanismo gerencial para definir a prioridade, e os serviços de ordem aleatória (FOGLIATTI; MATTOS, 2007).

Para descrever o comportamento dos sistemas de fila, utiliza-se a notação de Kendall-Lee, sintetizada da seguinte forma:  $A/B/c/k/m/Z$ , em que  $A$  representa os intervalos entre as chegadas,  $B$  a distribuição correspondente ao tempo de atendimento,  $c$  é a capacidade dos servidores,  $k$  é a capacidade máxima do sistema,  $m$  é o tamanho da população de clientes e  $Z$  a disciplina da fila (HIDEKI *et al.*, 2006).

A abordagem matemática de filas preconiza que os fluxos de chegada (  $\lambda$  ) e o processo de atendimento (  $\mu$  ) devem ser constantes, ou seja, o sistema deve permanecer estável para que o fluxo do atendimento permaneça estável. Qualquer oscilação considerável nessas duas variáveis representa instabilidade e, conseqüentemente, formação de filas indesejáveis ou que estejam fora de um parâmetro de normalidade (CHWIF; MEDINA, 2007).

De acordo com Hillier e Lieberman (2009), para cada categoria de sistemas de filas haverá um modelo correspondente. Para descrever o sistema do modelo haverá um conjunto de equações que calcularão: a) a taxa média de chegada em dado intervalo de tempo; b) o tempo médio de atendimento; c) o ritmo médio de atendimento; d) a taxa de ocupação; e) a probabilidade de o sistema estar vazio; f) o número esperado de clientes em serviço; g) o número médio de clientes no sistema; h) o tamanho médio da fila, entre outros.

Um sistema de fila pode ser, genericamente, resumido em cinco estruturas básicas, de acordo com Chase, Jacobs e Aquilano (2004), sendo:

- a) Canal único, fase única.

- b) Canal único, fases múltiplas.
- c) Canais múltiplos, fase única.
- d) Canais múltiplos, fases múltiplas.
- e) Misto.

#### 5.2.1.3 Ferramentas computacionais

De acordo com Carrión (2007), modelos de fila podem ser aplicados em vasta gama de sistemas computacionais, desde *softwares* específicos, simuladores até linguagens de programação de baixo e alto nível, dependendo da complexidade da modelagem.

#### 5.2.1.4 Aplicações

As aplicações de teoria das filas na literatura são bastante diversificadas. Marinho e Cardoso (2007) aplicaram em um departamento de Obstetrícia, buscando melhorar o fluxo de atendimento de gestantes e trabalhos de parto. Lima e Belderrain (2007) utilizaram os conceitos de teoria das filas para melhorar o fluxo de atendimento a pacientes no pronto-socorro de um hospital. Marinho, Cardoso e Almeida (2010), em estudo sobre filas de transplante, abordam os problemas que ocorrem em algumas regiões/centros de saúde com filas muito longas e que tornam a espera excessiva, com grandes disparidades entre regiões do país (citando exemplos no Brasil, Austrália, Espanha, Estados Unidos, França e Reino Unido).

Em uma aplicação do SAMU, Souza (2010) usou teoria das filas para tratar explicitamente a prioridade no atendimento dos chamados que aguardam em fila. Em outro estudo no SAMU, Takeda, Widmer e Morabito (2004) adotaram a teoria das filas para avaliar os impactos da descentralização do serviço em um centro urbano.

Contri (2007), em uma abordagem aplicada ao Corpo de Bombeiros, buscou otimizar o tempo de resposta do sistema de socorro. Mendonça e Morabito (2000) e Iannoni e Morabito (2007) têm aplicações de teoria das filas em SME que ocorrem em rodovias e utilizam o *backup* parcial.

## 5.2.2 Localização de facilidades

Problemas de localização de facilidades (*Facility Location Problems*) geralmente, são utilizados para localizar recursos que irão atender a uma demanda (clientes), sujeito a restrições. Owen e Daskin (1998) dividem os modelos de localização em três categorias: a) problemas de localização determinísticos; b) problemas de localização dinâmicos; c) problemas de localização estocásticos.

Sahin e Sural (2007) fizeram revisão dos problemas mais comuns na literatura, tais como sistemas de saúde, gerenciamento de resíduos sólidos, sistemas de produção e distribuição, educação, redes de telecomunicações e serviços de emergência. Diversos outros estudos citam a utilização de modelagem para resolver problemas de localização, destacando-se alguns na área de saúde (BORRÁS; PASTOR, 2004; COOPER, 1963; DREZNER, 1995; SNYDER, 2006).

### 5.2.2.1 Histórico

Goldberg (2004) declara que sistemas de saúde são uma importante área de estudo em PO desde a década de 1960. As técnicas de PO são utilizadas constantemente para auxiliar na localização de base de operação médica, posicionamento de ambulâncias, despacho de veículos, dimensionamento de frota e gerenciamento de recursos.

Os sistemas médicos devem utilizar um mínimo de recursos para atendimento da demanda em um tempo razoavelmente baixo, para não colocar em risco a integridade dos pacientes (DREZNER, 1995).

Brotcorne, Laporte e Semet (2003) fizeram um levantamento de três décadas sobre modelos de localização de ambulâncias. Esses estudos foram sumarizados em modelos probabilísticos e determinísticos. Berlin e Liebman (1974) utilizaram dois modelos em sua pesquisa. O modelo de otimização foi usado para resolver o problema de localização e um outro modelo de simulação para resolver o problema de alocação dos veículos.

Um modelo de filas foi usado por Mandell (1998) para resolver um problema de cobertura. Rajagopalan, Saydam e Xiao (2008) desenvolveram uma técnica para otimizar o número de ambulância operando como demanda sazonal. Esse modelo determinou o número ótimo de ambulâncias e a localização das bases de operação.

Tavakoli e Lightner (2004) propuseram um modelo de localização e de alocação de ambulâncias na cidade de *Fayetteville* (Estados Unidos), cujo objetivo foi melhorar o tempo de resposta de atendimento, buscando alcançar a marca de oito minutos.

Para determinar a localização das bases de operação do SAMU na cidade de Belo Horizonte, Jardim, Conceição e Carvalho (2004) desenvolveram um modelo simplificado. Com essa modelagem, conseguiram mostrar que é viável reduzir o tempo de resposta com melhor localização das bases de operação.

Modelagem hipercubo foi utilizada por Iannoni, Morabito e Saydam (2009) e Iannoni e Morabito (2007) para localizar as ambulâncias em uma rodovia no Brasil. Morabito, Chiyoshi e Galvão (2008) também sugeriram um modelo de filas para analisar a não homogeneidade dos serviços do SAMU na cidade de Campinas, em São Paulo. Takeda, Widmer e Morabito (2001) adotaram uma metodologia similar para investigar o impacto da centralização dos serviços de emergência em uma mesma cidade.

#### 5.2.2.2 Método

Problemas de localização tratam de decisões sobre onde localizar facilidades, considerando clientes que devem ser servidos de forma a otimizar certo critério. O termo "facilidades" pode ser entendido como fábricas, depósitos, escolas, etc., enquanto que clientes referem-se a depósitos, unidades de venda, estudantes, entre outros (FIGUEIREDO; LORENA; CARVALHO, 2003).

De forma bem genérica, um problema de localização de facilidades consiste na determinação de pontos para instalação de um número predeterminado de facilidades que atendam a uma demanda (conjunto de clientes) distribuída geograficamente, determinando a alocação dos clientes nas facilidades.

Owen e Daskin (1998), em revisão sobre localização de facilidades, dividem os modelos de localização em três grandes categorias e para cada uma identifica os principais problemas, sendo:

##### **a) Problemas de localização estáticos e determinísticos**

- *p*-mediana (*p-Median Problem*);
- cobertura (*Covering problems*);
- *p*-centro (*Center problems*).

**b) Problemas de localização dinâmicos**

- Único (*Dynamic single facility location models*);
- múltiplo (*Dynamic multiple facility location models*);
- alternativos (*Alternative dynamic approaches*).

**c) Problemas de localização estocásticos**

- Probabilísticos (*Probabilistic models*);
- método de planejamento de cenário (*Scenario planning models*).

Para descrição mais detalhada, destacam-se os trabalhos de Cooper (1963), Drezner (1995), Owen e Daskin (1998), Borrás e Pastor (2004), Snyder (2006) e Sahin e Sural, (2007), em que são apresentados os principais modelos, métodos e aplicações, bem como detalhada descrição dos problemas citados.

Sahin e Sural (2007), em revisão hierárquica dos modelos de localização, categorizaram alguns sistemas reais comumente considerados nos estudos de localização:

- a) Sistemas de cuidado à saúde (*healthcare systems*);
- b) sistemas de coleta de lixo (*solidwaste management systems*);
- c) sistemas de produção e distribuição (*production-distribution systems*);
- d) sistemas de educação (*education systems*);
- e) redes de telecomunicação (*telecommunications networks*);
- f) sistemas de serviço médico de emergência (*Emergency medical service systems*).

**5.2.2.3 Ferramentas computacionais**

De acordo com Meindl e Templ (2012), modelos de localização podem ser aplicados em uma vasta gama de sistemas computacionais, desde *softwares* específicos, tais como GLPK, AMPL CPLEX, entre outros, até linguagens de programação de baixo e alto nível, dependendo da complexidade da modelagem.

**5.2.2.4 Aplicações**

Duas questões primordiais surgem quando se pensa em sistemas de atendimento de urgência à população: a) como dimensionar um número mínimo de servidores (bases de

operação do SAMU, por exemplo) de forma que toda população seja atendida pelo serviço?; b) como dimensionar o sistema de forma que o tempo de resposta seja adequado para atendimento à população? Para responder essas e outras questões são utilizados modelos de localização de facilidades customizados para a realidade do sistema de atendimento de urgência (DREZNER, 1995).

Figueiredo, Lorena e Carvalho (2003) descrevem que a localização de facilidades emergenciais desafia aqueles que têm a missão de planejar os sistemas de emergência, uma vez que estarão cumprindo um compromisso entre o atendimento ao indivíduo e a organização do sistema na tentativa de encontrar o melhor para ambos.

O interesse pelo estudo de localização de facilidades no contexto de serviços médicos de urgência tem algumas décadas. Re Velle *et al.* (1977), a partir de aplicações do modelo de máxima cobertura para localização de caminhões do corpo de bombeiros, abriam precedentes para aplicação também no serviço médico de urgência.

Para Goldberg (2004), os estudos de PO normalmente fazem as seguintes suposições:

- a) Existe um tempo  $T$  ou  $TR$ , que é denominado o tempo de resposta. Esse tempo deve ser o menor possível, de maneira que não interfira no sucesso do atendimento;
- b) a região analisada é dividida em áreas e os pontos de demanda são agregados no centro de cada área. O tempo de viagem é sempre relativo ao ponto central da área.

A função objetivo desses modelos poderá ser:

- a) Minimizar o tempo total de atendimento das chamadas.
- b) Minimizar o tempo total de viagem (atendimento).
- c) Maximizar a área de cobertura, dentro de um tempo  $T$ .
- d) Maximizar a cobertura das chamadas (atender ao maior número de chamadas possível), dentro de um tempo  $T$ .

Em detalhado estudo, Brotcorne, Laporte e Semet (2003) apresentam, nos QUADROS 2 e 3, revisão de três décadas sobre os modelos de localização de ambulâncias, sendo a primeira tabela com os modelos determinísticos e a segunda com os modelos probabilísticos.

De acordo com Figueiredo, Lorena e Carvalho (2003), o tamanho da frota de ambulâncias e sua respectiva localização são fatores que podem ser gerenciados e controlados com planejamento e afetam diretamente a eficiência do sistema. Entre outros fatores existe um relacionamento direto entre o tempo de resposta e a mortalidade e é isso que faz com que a localização de ambulâncias seja um problema importante a ser resolvido.

QUADRO 2 ó Sumário dos modelos determinísticos estáticos e dinâmicos

Referência	Modelo	Objetivo	Restrição de cobertura	Restrição de localização por base	Ambulância
Re Velle <i>et al.</i> (1971)	LSCM	Minimiza o número de ambulâncias	Cobre cada ponto de demanda pelo menos uma vez	No máximo uma ambulância por base	Um tipo. Número Ilimitado.
Church e Re Velle (1974)	MCLP	Maximiza a demanda coberta	-	No máximo uma ambulância por base	Um tipo. Número ilimitado
Schilling <i>et al.</i> (1979)	TEAM	Maximiza a demanda coberta	-	No máximo uma ambulância de cada tipo por base. Tipo A pode ser alocada somente se B já estiver	Dois tipos. Número determinado
Schilling <i>et al.</i> (1979)	FLEET	Maximiza a demanda coberta	-	No máximo uma ambulância por base. Somente $p$ bases podem ser utilizadas	Dois tipos. Número determinado
Daskin e Stern (1981)	Modified MCLP	Maximiza a demanda coberta e o número de pontos atendidos	Cobre cada ponto de demanda pelo menos uma vez	No máximo uma ambulância por base	Um tipo. Número determinado
Hogan e Re Velle (1986)	Modified MCLP (BACOP1 e BACOP2)	Maximiza a demanda coberta duas vezes ou uma combinação de demanda coberta uma ou duas	Cobre cada ponto de demanda pelo menos uma vez	No máximo uma ambulância por base	Um tipo. Número determinado
Gendreau <i>et al.</i> , (1997)	DSM	Maximiza a demanda coberta	Toda demanda coberta	Número máximo de ambulâncias por base	Um tipo. Número determinado
Gendreau <i>et al.</i> (2001)	DDSM	Maximiza dinamicamente a demanda coberta	Toda demanda coberta	Número máximo de ambulâncias por base	Um tipo. Número determinado
Alsalloum, O. I; Rand, G. K. (2006)	MCLP Estendido	Maximiza a demanda máxima coberta	-	Número mínimo de veículos para satisfazer nível	Um tipo. Número determinado.

				de desempenho	
--	--	--	--	---------------	--

Fonte: Adaptado de Brotcorne, Laporte e Semet (2003).

QUADRO 3 ó Sumário dos modelos probabilísticos

Referência	Modelo	Objetivo	Restrição de cobertura	Ambulância	Período
Daskin (1983)	MEXCLP	Maximiza a demanda coberta esperada	-	Um tipo. Limite superior informado	Mesmo para cada ambulância
Re Velle e Hogan (1989)	MALP I	Maximiza demanda coberta com probabilidade $x$	-	Um tipo. Número dado	Mesmo para todas as bases
Re Velle e Hogan (1989)	MALP II	Maximiza demanda total coberta com probabilidade de pelo menos $x$	-	Um tipo. Número dado	Varia para cada ponto de demanda
Batta <i>et al.</i> (1989)	Ajustado MEXCLP (AMEXCLP)	Maximiza a demanda coberta esperada	-	Um tipo. Número dado	Varia para cada ponto de demanda. Ambulâncias não independentes.
Goldberg <i>et al.</i> (1990)	Ajustado MEXCLP	Maximiza a demanda coberta esperada dentro de 8 minutos	-	Um tipo. Número dado. Dois tipos de chamada	Mesmo para cada ambulância
Ball e Lin (1993)	Modificado LSCM (Rel-P)	Minimiza a soma de custos fixos ambulâncias	Proporção de toda demanda coberta	Um tipo. Número ilimitado	Limite superior
Repede e Bernardo (1994)	Tempo dependente MEXCLP (TIMEXCLP)	Maximiza a demanda coberta esperada	-	Um tipo. Número dados. Variando velocidade	Mesmo para cada ambulância
Marianov e Re Velle (1994)	QPLSCP	Maximiza demanda total coberta com probabilidade de pelo menos $x$	-	Um tipo. Limite inferior para cada ponto de demanda	Varia para cada ponto de demanda
Beraldi, P.; Bruni, M. E. (2009)		Localização ótima de instalações em sistemas de emergência	-		Varia para cada ponto de demanda

Fonte: Adaptado de Brotcorne, Laporte e Semet (2003).

Apresentadas as técnicas de Pesquisa Operacional que serão abordadas na metodologia proposta neste estudo, no capítulo seguinte, nove problemas serão explorados e o método aplicado para cada uma das proposições.

## 6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PO EM PROBLEMAS NA ÁREA DE SAÚDE

Neste capítulo a metodologia proposta para a orientação de aplicações de PO em alguns dos principais problemas verificados em sistemas de saúde será aplicada. A partir da revisão de literatura realizada nos capítulos anteriores deste estudo, algumas das principais áreas e das técnicas mais relevantes puderam ser identificadas. As publicações analisadas serviram, portanto, como base fundamental para a construção da metodologia proposta, buscando analisar nas áreas mais críticas em sistemas médicos, problemas a serem atacados e as respectivas técnicas de solução.

No intuito de operacionalizar a metodologia e tornar sua linguagem o mais simples possível, na FIG. 14 são apresentadas, de forma esquemática, as etapas fundamentais para operacionalização do método.

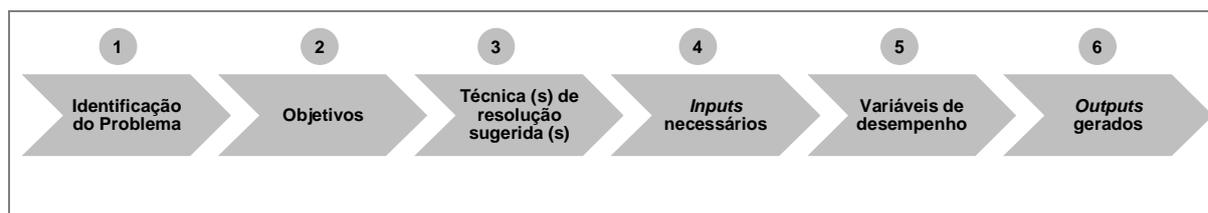


FIGURA 14 ó Etapas para operacionalização da metodologia de solução de problemas proposta  
Fonte: elaborado pelo autor (2014).

Conforme descrito no capítulo 3, cada uma das etapas representadas com a numeração de 1 a 6, serão detalhadas de acordo com cada um dos problemas selecionados neste estudo.

Para operacionalização do método, como já mencionado ao longo deste trabalho, analistas de PO, gestores, técnicos e profissionais da área da saúde deverão trabalhar de forma integrada. É importante que na equipe de trabalho existam profissionais que conheçam profundamente as técnicas de PO que estão sendo sugeridas e os sistemas computacionais necessários, bem como profissionais que entendam as particularidades variadas da área de saúde e dos seus respectivos problemas.

Os principais problemas que serão trabalhados neste estudo são:

- a) Problema de localização de bases de operação e alocação de ambulâncias.

- b) Problema de tempo de espera em hospitais, unidades de saúde e clínicas.
- c) Ineficiência do processo de triagem em departamento de emergência.
- d) Problema de custos elevados ou acima da meta em sistemas de saúde.
- e) Problema de dimensionamento de recursos (leitos, equipamentos, etc) em unidades de saúde.
- f) Problema de *layout*/arranjo físico gerando perda de eficiência em hospitais e unidades de saúde.
- g) Problema de ineficiência da gestão de medicamentos da farmácia hospitalar.
- h) Problema de tempo de espera elevado em filas de transplante.
- i) Problema de proliferação de epidemias e pandemias.

Para cada um dos problemas selecionados será apresentada a seguir a representação gráfica da metodologia proposta correspondente, e complementarmente o detalhamento das etapas propostas no método e ainda as referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos no respectivo problema.

É importante registrar, ainda, que a proposta de solução apresentada para cada um dos problemas identificados não é exclusiva e não há neste estudo a pretensão de esgotar ou excluir as demais técnicas, ferramentas e métodos disponíveis na literatura.

Nos tópicos 6.1 a 6.9 , serão detalhadas as principais diretrizes para operacionalização da metodologia representada nas figuras de número 15 a 23. Nelas são indicados os principais problemas identificados, os objetivos do trabalho, as técnicas sugeridas para resolução dos problemas e também os *inputs* necessários para realização do estudo, a principal (ou principais) variável de desempenho e os *outputs* a serem gerados na solução do problema em estudo. Todas as questões apresentadas baseiam-se na análise das publicações científicas referenciadas neste estudo e ainda em análises realizadas pelo pesquisador.

### **6.1 Problema de localização de bases de operação e alocação de ambulâncias**

A FIG. 15 apresenta a metodologia para abordagem do problema de localização de bases de operação e alocação de ambulâncias.

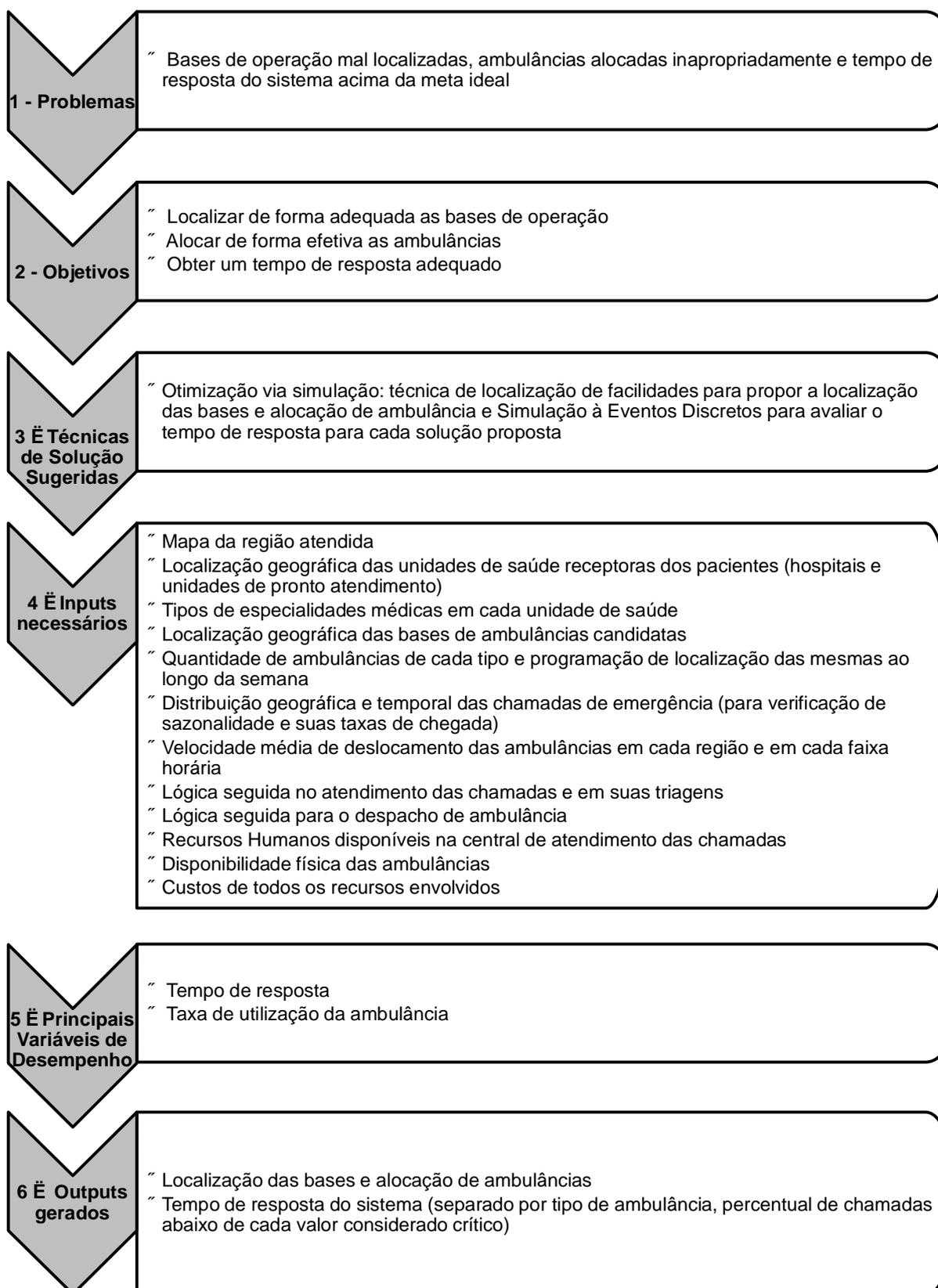


FIGURA 15 - Metodologia proposta para o problema de localização das bases de operação e alocação das ambulâncias

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.1.1 Detalhamento das etapas propostas

Em um SAMU existem pelo menos três problemas relevantes e que estão relacionados. O primeiro é a localização das bases de operação ó que passa pela decisão de quantidade, política de funcionamento e sua localização geográfica. O segundo problema é a alocação das ambulâncias, em que questões como número de equipamentos disponíveis, quantidade de unidades por base, tipos de ambulância (entre básicas e avançadas), dimensionamento das equipes de resgate, entre outros elementos, deverão ser analisados. Por fim, o terceiro problema a ser resolvido está relacionado ao tempo de resposta. Essa é a principal variável de desempenho e irá demonstrar se a localização das bases, alocação das ambulâncias e mais alguns fatores refletem-se no tempo de resgate considerado adequado.

Identificados os três problemas inerentes ao SAMU, buscam-se alcançar os objetivos propostos. No caso do primeiro problema, tem-se o objetivo de definir o local ideal onde as bases serão (ou poderão ser) instaladas. O alcance desse objetivo depende de uma série de variáveis complexas, tais como os espaços públicos ou privados disponíveis para se construir ou adaptar um local adequado para uma base de operação do SAMU. Muitas vezes, em grandes centros urbanos, as localizações mais nobres e estratégicas estão ocupadas e, em muitos casos, remover a residência, empresa privada ou prédio público instalado não é econômica nem operacionalmente viável. Essa limitação abre precedente para um dos principais problemas na localização das bases. Elas acabam sendo instaladas onde é possível e não onde deveriam. Essa questão é crucial e precisa ser muito bem trabalhada, pois influenciará diretamente na qualidade da proposta de solução do problema.

Quanto ao segundo objetivo, de alocação ótima das ambulâncias, este também deve ser trabalhado com critério. Normalmente, o número de veículos disponíveis para socorro médico é restrito, seja por falta de recursos, seja por picos de demanda que podem surgir no sistema ou por falta de planejamento. Espera-se conseguir, com os recursos disponíveis, alocar em cada base de operação adequado número de ambulâncias, em alguns casos do tipo básico, em outros do tipo avançado e em alguns casos especiais, ambos.

Por fim, o terceiro objetivo nesse problema é obter um tempo de resposta do sistema dentro de uma faixa considerada ideal. Esse tempo, segundo estudos já citados, deve ficar na casa dos oito minutos. Esse tempo é contado desde o momento do recebimento da chamada na central de regulação até o momento em que a ambulância chega ao local do incidente.

Neste estudo, as técnicas de solução sugeridas são um modelo de otimização para localização de facilidades, para definir a localização ideal (dentro do possível) das bases e alocação das ambulâncias e a segunda técnica é a modelagem via SED para realizar os testes de cenário e verificar o tempo de resposta do sistema.

Para utilizar as técnicas de solução sugeridas a contento, além de analistas com experiência no uso das técnicas, algumas informações fundamentais necessitarão ser verificadas. Nessa etapa o envolvimento dos profissionais da área de saúde será fundamental, pois a qualidade dos dados de entrada influenciará decisivamente as respostas obtidas.

As informações iniciais necessárias envolverão o mapa da região atendida, a localização geográfica das unidades de saúde receptoras dos pacientes (hospitais e unidades de pronto atendimento), os tipos de clínicas atendidas em cada unidade de saúde, a localização geográfica das bases de ambulâncias candidatas, a quantidade de ambulâncias de cada tipo e programação de localização das mesmas ao longo da semana, a distribuição geográfica e temporal das chamadas de emergência (para verificação de sazonalidade e suas taxas de chegada), como também a velocidade média de deslocamento das ambulâncias em cada região e em cada faixa horária.

Outros elementos importantes que precisam ser identificados são a lógica seguida no atendimento das chamadas e em suas triagens e a lógica seguida para o despacho de ambulância, por fim deverão ser conhecidos todos os recursos humanos disponíveis na central de atendimento das chamadas, a disponibilidade física das ambulâncias e apurados os custos de todos os recursos envolvidos.

Após realizada a implementação e validação dos modelos e realizados diversos testes de cenários e ajustes que se fizerem necessários, algumas informações de saída deverão ser obtidas, sendo a localização das bases e alocação de ambulâncias e o tempo de resposta do sistema (separado por tipo de ambulância, percentual de chamadas abaixo de cada valor considerado crítico).

Caso haja interesse, o número total de bases de operação e o número total de ambulâncias por tipo também poderão ser identificados, utilizando Otimização para Simulação, através das heurísticas disponíveis nos pacotes de simulação (como *Optquest* e *SimRuner*, por exemplo). Neste caso o analista deverá estar atento para identificar alguns parâmetros, tais como: i) Controles (como ativação de base, número de ambulâncias por base), ii) Variável de desempenho (tempo de resposta, por exemplo), iii) Restrições (número máximo de ambulâncias, investimento máximo) e, iv) Objetivo (minimizar o tempo de resposta, minimizar investimento).

### **6.1.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

No estudo de Jardim, Conceição e Carvalho (2004), por exemplo, o SAMU da cidade de Belo Horizonte é estudado e um modelo de otimização para localizar essas facilidades é desenvolvido. Como o fator tempo é a variável mais importante nessas aplicações, o propósito foi reduzir o tempo de resposta, considerando a melhor localização possível para as bases de operação e também a distribuição ótima das ambulâncias para atender à demanda do município.

Em pesquisa que também abordou a localização das bases de operação do SAMU, na cidade de Campinas, em São Paulo, Takeda, Widmer e Morabito (2001) utilizaram modelos de fila por hipercubos, que permitiu a completa avaliação de desempenho de cada configuração sugerida para as bases de operação e a distribuição de ambulâncias.

Silva e Pinto (2010) usaram um modelo de SED com o objetivo principal de reduzir o tempo de resposta do serviço na cidade de Belo Horizonte. A partir da modelagem, foi possível identificar o comportamento do sistema, a partir das configurações consideradas. Também foram realizados testes de cenários com variação da demanda futura pelo serviço e os resultados demonstraram que o sistema apresenta limitações e congestionamento. Alternativas possíveis para melhorias no tempo de resposta do sistema estão no melhor posicionamento das bases de operação, aquisição de novas ambulâncias e novas regras para encaminhamento de pacientes aos hospitais.

Também no SAMU da cidade de Belo Horizonte, Nogueira Júnior, Pinto e Silva (2014) sugeriram um modelo de otimização para identificar uma localização mais efetiva para as bases de operação do SAMU. A partir da análise dos resultados inferiu-se que o tempo de resposta do serviço foi reduzido 30% (comparado ao cenário inicial), principalmente em virtude do reposicionamento de algumas bases de operação das ambulâncias.

Alguns aspectos como número restrito de ambulâncias, velocidade média de deslocamento dos veículos de socorro (reduzido sensivelmente nos horários de pico de trânsito) e ainda a centralização das unidades de saúde (distante das regiões mais periféricas da cidade) também afetam diretamente na performance do sistema. A soma desses fatores é dificultadora para que o tempo de resposta do SAMU se aproxime da meta de oito minutos (NOGUEIRA JÚNIOR. PINTO; SILVA, 2014).

Sung e Lee (2012), em estudo que analisou uma série de publicações em sistemas médicos que utilizavam simulação como ferramenta, detectaram que a principal contribuição da modelagem está na possibilidade de representar todo sistema em um único modelo, evitando, assim, análises fragmentadas. Outra vantagem identificada é relativa à fidelidade e representatividade dos modelos quando comparados aos sistemas reais. Além disso, a ferramenta é considerada bastante abrangente, sendo utilizada em problemas de despacho de veículos de emergência, em sistemas de triagem, na seleção de hospitais e nas redistribuições em casos de pico de demanda.

Em estudo do SME francês, Aboueljinane *et al.* (2012) adotaram SED para analisar o sistema e reduzir seu tempo de resposta. Sabe-se que minimizar o tempo entre a chamada de socorro e a chegada da ambulância pode resultar em vidas salvas e/ou diminuição das sequelas do agravo sofrido. Com o modelo proposto e a análise de cenários foi possível chegar à redução de 20% no tempo de atendimento, principalmente a partir do envio das equipes mais próximas do local do acidente e em alguns casos com envio de até duas equipes, priorizando os atendimentos de mais severidade.

Na Coreia do Sul, Lee *et al.* (2012) apresentaram um método iterativo que conciliou programação inteira e SED, objetivando identificar a localização ideal simultânea dos centros de trauma e das unidades de transporte aéreo, de forma que todo paciente, após no máximo 60 minutos do momento do agravo, estivesse em um centro de traumatologia. Uma das limitações percebidas no estudo é o fato de haver exclusão dos pontos de demanda que não dispunham de atendimento via helicóptero. Outra consideração importante é sobre o processo iterativo entre as duas modelagens. Como o resultado do modelo de otimização alimenta o modelo de simulação, que por sua vez realimenta o modelo de otimização, há a necessidade de escolher com muito cuidado a solução inicial, pois impactará consideravelmente a qualidade da solução final.

Operar um sistema médico de emergência envolve decisões estratégicas e de nível mais operacional. Henderson e Mason (2004) abordam as decisões de despacho de ambulâncias, posicionamento de bases e decisões sobre demanda a partir do desenvolvimento de um simulador que tem como módulo um sistema de informação geográfico. O sistema foi desenvolvido na Nova Zelândia e tem conseguido bons resultados quando comparados aos sistemas de mercado. Uma das principais conclusões dos pesquisadores está no desenvolvimento de *softwares* personalizados, incluindo, por exemplo, a tecnologia de sistemas de informação geográfica, melhorando significativamente o desempenho e fidelidade dos modelos.

Em recente estudo, Pinto, Silva e Young (2015) adotaram um método genérico para desenvolvimento de modelo de simulação para sistemas de ambulâncias. Nesse estudo são

descritos alguns parâmetros necessários para modelagem, tais como: as chamadas recebidas, taxa de chegada das chamadas por período, a distribuição geográfica das chamadas, quantidade de ambulâncias disponíveis por tipo (entre básicas, avançadas e de saúde mental). Além disso, são apresentados também a política de despacho utilizada para direcionar as ambulâncias para as chamadas, as peculiaridades para simulação do deslocamento das ambulâncias no trânsito nas grandes cidades, e a necessidade de contar com fontes de dados confiáveis.

## **6.2 Problema de tempo de espera em hospitais, unidades de saúde e clínicas**

A FIG. 16 apresenta a metodologia para abordagem do problema de tempo de espera em hospitais, unidades de saúde e clínicas.

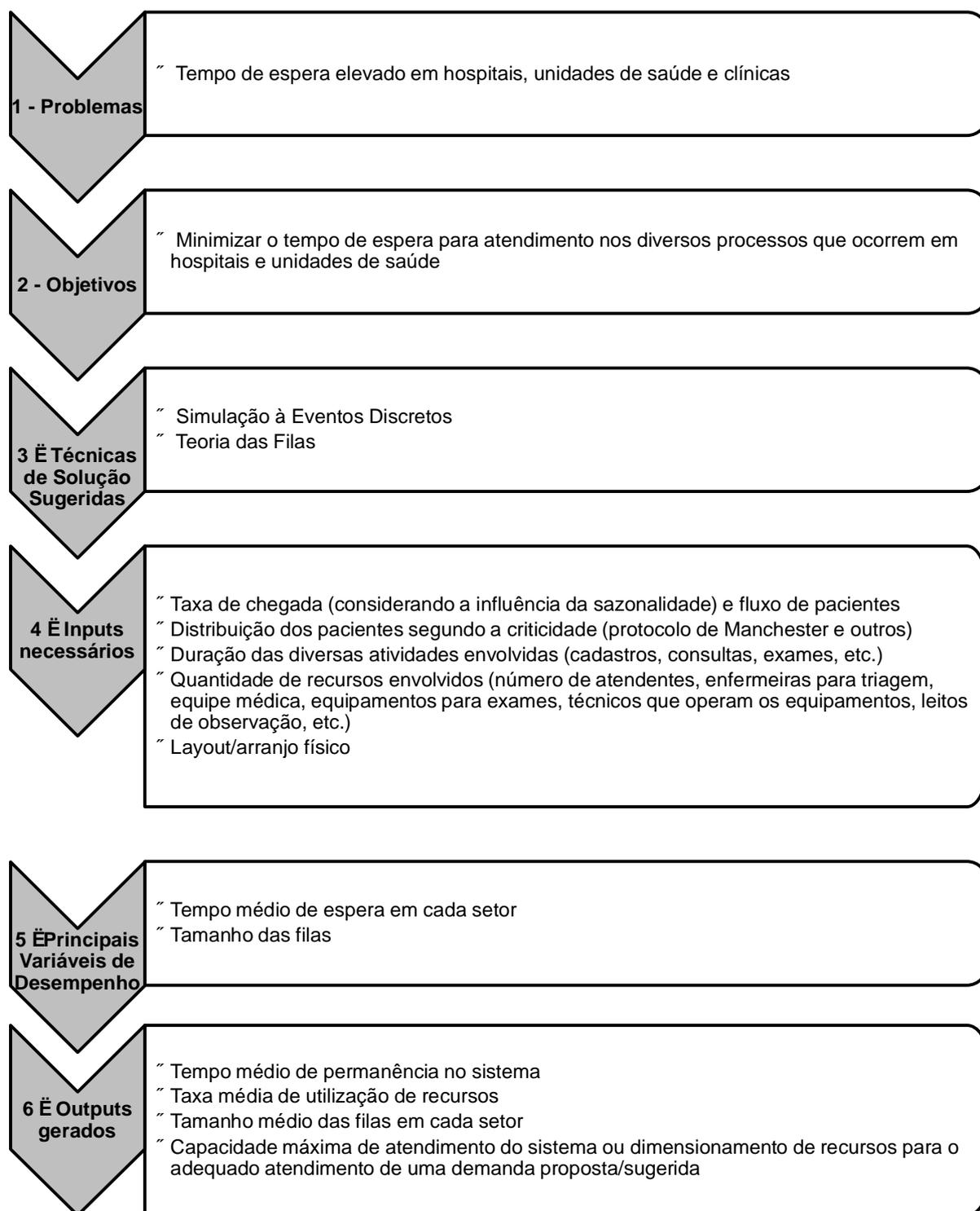


FIGURA 16 - Metodologia proposta para o problema de tempo de espera elevado em hospitais, unidades de saúde e clínicas

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.2.1 Detalhamento das etapas propostas

Um dos problemas mais recorrentes em hospitais, clínicas, ambulatórios e unidades de saúde em geral são as longas esperas a que os pacientes são submetidos. A origem desse problema tem diversas fontes, que ocorrem algumas vezes de forma simultânea. Essas esperas ocorrem pela escassez de equipamentos críticos, equipes de atendimento com número insuficiente de funcionários, picos de demanda de atendimento, entre outros fatores.

O objetivo fundamental dos profissionais que gerem as unidades de saúde, portanto, é trabalhar com iniciativas que minimizam as filas formadas pelos usuários do sistema. Mas nem sempre técnicas simples serão efetivas para minimizar o tempo de espera para níveis considerados adequados.

Duas técnicas largamente verificadas na literatura que podem auxiliar no estudo aprofundado em hospitais, clínicas, ambulatórios e unidades de saúde são a teoria das filas e a SED. A escolha por uma ou outra ou até mesmo pelo uso de ambas de forma integrada dependerá da habilidade dos analistas em trabalhar com os princípios das técnicas e a disponibilidade de sistemas computacionais adequados.

Para realizar o estudo, o analista e os demais profissionais envolvidos deverão tomar conhecimento das características e particularidades do setor, departamento ou unidade que será estudada. Recomenda-se, entretanto, que o estudo inicie com um escopo menor e a partir das primeiras conclusões possa expandir-se para outros departamentos e/ou áreas mais complexas e movimentadas. De início, a primeira iniciativa a ser realizada é definir a área de escopo onde o estudo será desenvolvido (emergência, consulta, cirurgia, exame, entre outros), considerando-se as sugestões descritas.

Em seguida, o processo de coleta ou análise do banco de dados da área escolhida precisa ser realizado. Nessa fase é muito importante observar a influência da sazonalidade no comportamento do sistema, principalmente se o período em análise não está influenciado por algum pico de demanda. Algumas informações-chave como a taxa de chegada, o fluxo de pacientes (em cada área e de acordo com a classificação de risco), a distribuição dos pacientes segundo a criticidade (nesse tipo de classificação de risco é importante saber a distribuição dos pacientes em cada faixa de criticidade e se essa distribuição está sujeita à sazonalidade diária e/ou horária), a duração das diversas atividades envolvidas (cadastros, consultas, exames, etc.), a quantidade de recursos envolvidos (número de atendentes, enfermeiras para triagem, equipe médica, equipamentos para exames, técnicos que operam os equipamentos, leitos de observação, etc.).

As informações relacionadas ao *layout*/arranjo físico do setor também deverão ser verificadas, envolvendo, além das disposições dos equipamentos e dimensões atuais, potenciais planos de remanejamento, realocação e adaptações.

Identificados os elementos fundamentais de entrada que podem extrapolar os citados anteriormente, dependendo do caso analisado, utilizam-se as técnicas de simulação e/ou teoria das filas para estudar as particularidades do processo em estudo em um ambiente computacional. Testes de cenário deverão ser feitos, considerando-se mudanças de configuração de equipe, análise das políticas de funcionamento, alterações de *layout*/rearranjos físicos, mitigação de situações-problema, capacitação e aquisição de recursos humanos e materiais, entre outros.

Finalizada a implementação, espera-se que algumas saídas tenham valores conhecidos e analisados. Os principais são o tempo médio de permanência no sistema, a taxa média de utilização de recursos, o tamanho médio das filas em cada setor, a capacidade máxima de atendimento do sistema ou dimensionamento de recursos para o adequado atendimento de uma demanda proposta/sugerida.

É possível também, através de Otimização para Simulação identificar o dimensionamento dos recursos (postos de trabalho, equipes, equipamentos). Para tanto, o analista deverá utilizar as heurísticas disponíveis nos pacotes de simulação (como *Optquest* e *SimRuner*, por exemplo). Neste caso o analista deverá estar atento para identificar alguns parâmetros, tais como: i) Controles (parâmetros como o número de médicos, número de enfermeiros, entre outros recursos), ii) Variável de desempenho (tempo médio de fila), iii) Restrições (número máximo de médicos, tempo máximo de fila) e, iv) Objetivo (minimizar o tempo de espera).

De posse desses parâmetros, configurações propostas e informações complementares, espera-se que ações práticas baseadas nos cenários computacionais sejam adotadas para se alcançar prestação de serviço mais adequada e, por sua vez, que o tempo médio de espera seja reduzido para um limite controlado, contribuindo, assim, para que o problema em estudo seja resolvido, mitigado ou parcialmente solucionado, dependendo da especificidade de cada situação.

### **6.2.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

O problema de formação de filas em unidades de saúde tem várias causas, entre elas a flutuação de demanda, a natureza não programada dos atendimentos de emergência e ainda a simultaneidade de atendimentos, entre outros (DAVIES, 2007). Em estudo no departamento de emergência de uma unidade de saúde, Pirolo *et al.* (2009) adotaram modelagem e SED para avaliar a complexa relação entre o atendimento dos pacientes, a ocorrência de filas, restrição de recursos e o processo de atendimento no departamento de emergência.

A coleta de dados ocorreu durante seis meses e o registro foi realizado desde a chegada do paciente à área de atendimento cardiovascular da unidade de emergência. Esses marcos estabelecidos são fundamentais para a coleta de dados e ainda servem de *inputs* fundamentais para o modelo de simulação. Na modelagem realizada, foi possível identificar as etapas do processo e os principais gargalos do sistema, permitindo a tomada de algumas ações que propiciam o atendimento mais ágil dos pacientes, com baixa espera, permitindo a redução do tempo total de permanência do paciente no sistema (PIROLO *et al.*, 2009).

Em clínicas de saúde também são registrados problemas relacionados a longos períodos de espera para atendimento. Mocarzel *et al.* (2013) identificaram dois gargalos principais, sendo o primeiro na dificuldade de agendamento de consultas via telefone e o segundo relativo ao longo tempo de espera desde a chegada até a conclusão do atendimento. Para solução do problema, foi desenvolvido um modelo de SED e cenários foram testados. A partir dos testes de cenário foi possível verificar que um problema influencia o outro de forma cíclica, ou seja, o elevado número de pacientes atendidos dificulta o atendimento telefônico para marcação de consulta e, em virtude desse problema, muitos pacientes procuram a clínica sem marcação prévia, congestionando a recepção.

Para mitigar esses problemas, foi proposta a utilização de um sistema de atendimento automático amigável para que os pacientes possam depender menos dos atendentes. Outra iniciativa importante diz respeito ao dimensionamento de atendimento clínico, pois havendo janelas de atendimento limitadas, naturalmente o volume de pacientes a ser atendido será sempre considerável (MOCARZEL *et al.*, 2013).

Na década de 1960, Holland (1969) já apresentava uma aplicação de simulação para auxiliar no dimensionamento de recursos humanos, detectando que o fluxo de pacientes era maior que a capacidade de atendimento dos departamentos da unidade de saúde.

Em um problema que aborda a dificuldade de se estimar o atraso relativo a cada atendimento realizado em um departamento de emergência, Ibrahim e Whitt (2010), com base em um modelo de filas, consideraram a taxa variável de chegada a variação no tempo de atendimento dos servidores e também a possível desistência de alguns clientes. A principal proposta exitosa do trabalho é identificar indicadores que possam ser utilizados em tempo real, informando, desta forma, a previsão de espera no sistema de forma contínua para os clientes.

Aplicando a teoria das filas em um processo de atendimento na área ambulatorial de um hospital de emergência, Tan, Lau e Lee (2013) realizaram uma categorização com base na severidade do agravo. Para cada uma das quatro categorias foram determinados os identificadores P1, P2, P3 e P4, sendo P1 e P2 de natureza mais grave e P3 e P4 mais simples. Foram propostas algumas ações, destacando-se a necessidade de se estabelecer uma estratégia para administração da chegada de pacientes. Também foi preciso estabelecer estratégias para administrar bem os recursos internos, principalmente as equipes médicas.

Em um departamento de emergência de um hospital em Massachusetts, nos Estados Unidos, um modelo de SED foi proposto para diminuir o número de pacientes à espera para admissão na unidade de internação. Na modelagem proposta foi testada uma configuração em que uma equipe de plantão realiza procedimentos que visam a minimizar o sofrimento, antes que os pacientes sejam encaminhados para a internação definitiva. A partir dos testes de cenário realizados, foram selecionados os mais promissores e verificadas algumas variáveis, tais como tempo total no sistema e tempo da triagem até a internação (KOLB; PECK, 2008).

Outros estudos também poderão auxiliar os pesquisadores, trazendo exemplos de situações em contextos semelhantes, sendo os de: Garcia *et al.*, 1995, Davies, 2007 e Pendharkar, Bischak e Rogers, 2012.

### **6.3 Ineficiência do processo de triagem em departamento de emergência**

A FIG. 17 apresenta a metodologia para abordagem do problema de ineficiência do processo de triagem em departamento de emergência.

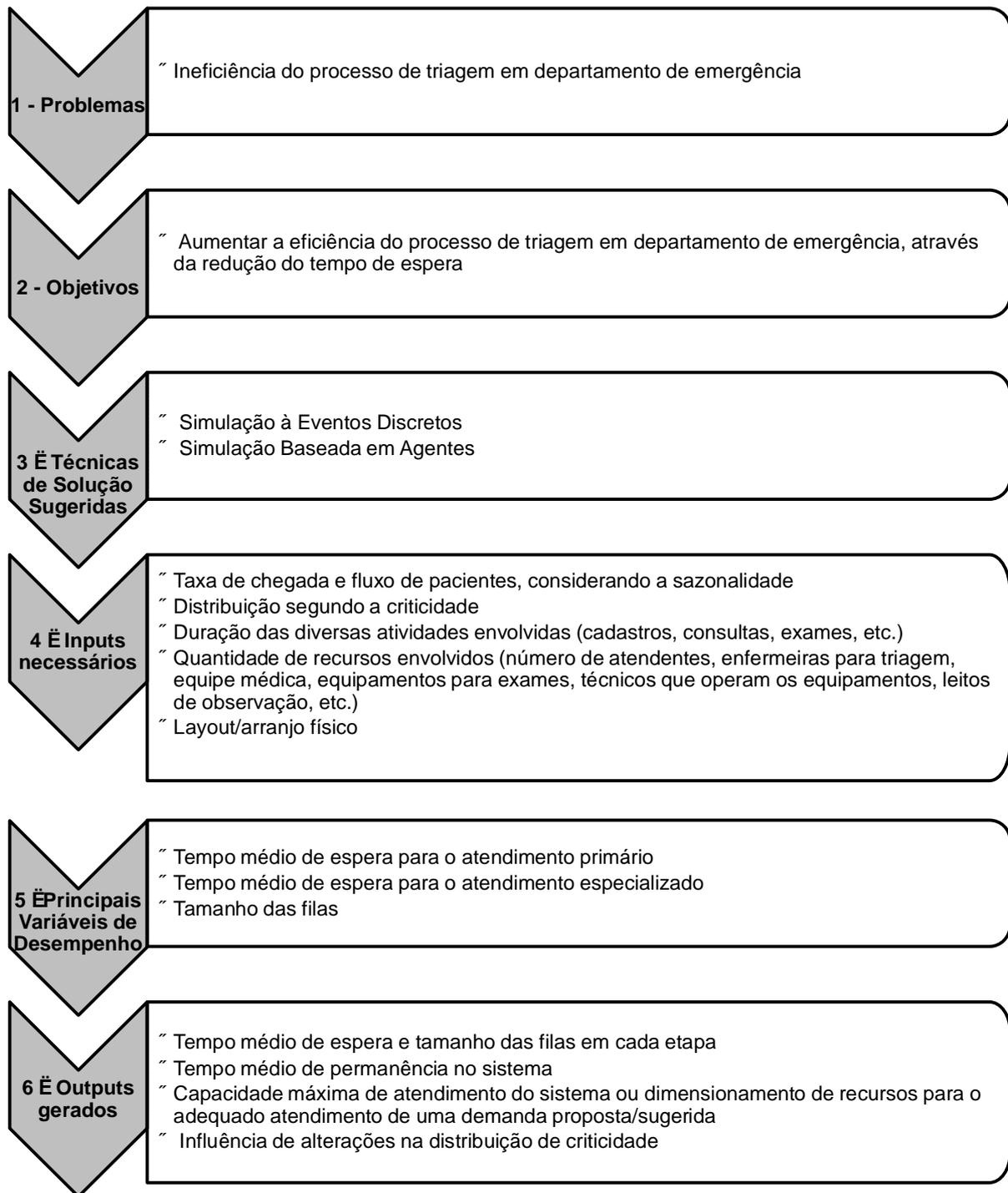


FIGURA 17 - Metodologia proposta para o problema de ineficiência na triagem em departamento de emergência

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.3.1 Detalhamento das etapas propostas

A triagem em departamentos de emergência é uma etapa crítica no processo de atendimento aos pacientes. As decisões tomadas no atendimento primário vão influenciar

diretamente nos procedimentos e ações que ocorrerão posteriormente nos atendimentos secundários. Um problema verificado de forma recorrente nessa fase é a classificação de criticidade de forma inadequada do enfermo que chega buscando atendimento. Essa falha pode ocorrer em virtude de fatores variados, como: falta de treinamento da equipe que faz o atendimento e avaliação; também por problemas de comunicação entre o paciente e a equipe de saúde (é comum haver falta de clareza nos sintomas relatados no momento de sofrimento); por picos de demanda, em que há um número muito elevado de ocorrências e as decisões acontecem de forma muito acelerada, entre outros.

Nesse processo, quanto mais rápida e objetiva a triagem for, mais rapidamente o paciente receberá os cuidados avançados. Sendo assim, o objetivo fundamental quando se estuda um processo de triagem é aumentar sua agilidade e precisão. Na literatura, as técnicas de SBA e SED têm sido muito utilizadas para esse tipo de caso. Como a chegada dos pacientes segue um padrão aleatório e os tempos de cada atendimento variam muito em função da gravidade, métodos de natureza estocástica têm apresentado boas propostas de solução.

Para realizar o estudo, os analistas e demais envolvidos deverão buscar (via coleta e análise de banco de dados) informações-chave tais como: a taxa de chegada (considerando a influência da sazonalidade) e o fluxo de pacientes em espera pelo atendimento primário e o fluxo de pacientes em espera pelo atendimento especializado (observando a classificação de risco). Outras informações relevantes que deverão ser levantadas são sobre a duração das diversas atividades envolvidas (cadastros, consultas, exames, etc.), a quantidade de recursos envolvidos (número de atendentes, enfermeiras para triagem, equipe médica, equipamentos para exames, técnicos que operam os equipamentos, leitos de observação, etc.).

O *layout*/arranjo físico da área de triagem também deve ser considerado, verificando-se a disposição e configuração da área de espera, dos postos de atendimento primário, da característica das áreas de atendimento secundário quanto à disposição de salas de atendimento, leitos, equipamentos, equipes, etc.

É importante ressaltar que no caso de atendimentos de emergência, as principais variáveis de desempenho serão o tempo médio de espera para o atendimento primário, o tempo médio de espera para atendimento secundário e o tamanho das filas. Para todos os casos, o tempo ideal será influenciado por uma série de fatores, que envolvem a criticidade de cada caso, o volume de atendimentos realizados no período, se há algum evento extraordinário (como um acidente de grandes proporções), entre outras variáveis.

Após a etapa de identificação dos principais elementos de entrada, realizam-se as etapas de modelagem, implementação computacional e testes de cenário. Alguns parâmetros de saída deverão ser observados e comparados nessa fase do estudo, considerando-se as propostas desenvolvidas na simulação. Alguns delas serão o tempo médio de espera e tamanho das filas em cada etapa, o tempo médio de permanência no sistema, a capacidade máxima de atendimento do sistema ou dimensionamento de recursos para o adequado atendimento de uma demanda proposta/sugerida e por fim, mas muito importante a influência de alterações na distribuição de criticidade.

É possível também, através de Otimização para Simulação identificar o dimensionamento dos recursos (postos de trabalho, equipes, equipamentos). Para tanto, o analista deverá utilizar as heurísticas disponíveis nos pacotes de simulação (como *Optquest* e *SimRuner*, por exemplo). Neste caso o analista deverá estar atento para identificar alguns parâmetros, tais como: i) Controles (parâmetros como o número de médicos e enfermeiros, entre outros recursos), ii) Variáveis de desempenho (tempos médios de espera), iii) Restrições (número máximo de médicos e enfermeiros, tempo máximo de fila) e, iv) Objetivo (minimizar o tempo de atendimento primário, minimizar o tempo de atendimento secundário, entre outros).

A equipe de trabalho envolvida na solução de problemas de triagem em unidades de saúde deve observar que cenários críticos (como de acidentes de grande proporção e catástrofes) deverão ser previamente avaliados e testados. É fundamental que as equipes que trabalham nos setores de triagem saibam como reagir em situações que fogem da rotina diária de atendimento, adaptando procedimentos à medida da necessidade de momento. Essas situações devem ser treinadas para que em um eventual cenário real os envolvidos saibam como reagir.

### **6.3.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

Holm e Dahl (2009) citam a importância de as unidades de saúde se esforçarem para oferecer um serviço de triagem e primeiro atendimento ágil, minimizando o desconforto do paciente até que este possa ser atendido por um médico. Em um hospital universitário da Noruega, uma proposta de utilizar médicos, no lugar de enfermeiros, para realização da

triagem foi testada quanto à sua eficácia via SED. Os resultados apurados nos testes de cenário indicam significativa redução no tempo de espera pelo atendimento médico especializado.

Em uma modelagem via SED, Ullrich *et al.* (2013) estabeleceram um estudo para avaliar procedimentos diante de desastres. Esse trabalho tem como característica o uso de parâmetros bem próximos da realidade, validados por profissionais experientes na gestão de catástrofes médicas. Os testes de cenário realizados permitiram também que se avaliasse, com base em um processo de decisão chamado frequência respiratória, pulso e resposta motora (RPM), na probabilidade de sobreviver do paciente e ainda na disponibilidade de recursos (ambulância, por exemplo), se a decisão mais adequada era o tratamento imediato ou a evacuação da vítima para uma unidade de saúde.

O principal propósito desse estudo foi a possibilidade de definir os principais recursos necessários para triagem em casos de situações limite, nesse caso um desastre rodoviário. Após a validação e ajustes finais, desdobramentos dessa pesquisa estão sendo planejados, principalmente para avaliar o comportamento do sistema em desastres de vários tipos, tais como: aeronáutico, incidentes envolvendo bombas químicas, biológicas e radioativas, acidentes com grandes massas (manifestantes, por exemplo) e catástrofes hospitalares (ULLRICH *et al.*, 2013).

Em mais um estudo em uma unidade de emergência, Cabrera, Luque e Taboada (2012) utilizaram SBA para estudar o comportamento do sistema. Nesse caso, os atores envolvidos no processo (pacientes, funcionários da triagem, enfermeiros e médicos) são considerados agentes ativos. E os agentes passivos são os equipamentos utilizados para testes, os sistemas de informação, entre outros. Cada agente tem um comportamento único, similar a uma pessoa. A comunicação entre os agentes é modelada a partir de *inputs* (entradas) e *outputs* (decisões de saída), implícita e explicitamente. No modelo proposto há três tipos básicos de protocolo de comunicação: 1 para 1, ou seja, de indivíduo para indivíduo, do paciente para a recepcionista, por exemplo. O segundo é o 1 para n, de indivíduo para um conjunto específico de indivíduos, como um médico passando um diagnóstico para o paciente e seu acompanhante. O último é o do tipo 1 para comunicação local, de indivíduo para um conjunto de indivíduos, como uma enfermeira que comunica um recado via altofalantes numa sala de espera, para vários pacientes.

Nessa modelagem, uma aplicação simplificada foi realizada e, em conjunto com a SBA, outras técnicas foram empregadas. Para alguns cenários testados, configurações adequadas foram encontradas, considerando melhor fluxo de pacientes no departamento de

emergência e redução do tempo de espera. Em estudos futuros, cenários mais complexos devem ser testados, bem como técnicas para reduzir o tempo computacional também deverão ser identificadas (CABRERA; LUQUE; TABOADA, 2012).

Ruohonen, Neittaanmaki e Teittinen (2006) estudaram o sistema de triagem de um novo departamento de emergência em um hospital na Finlândia. A meta estabelecida é que 80% dos pacientes passem pela triagem e sejam atendidos em até duas horas, implementado via SED no *software* Promodel. Uma das ações realizadas nesse trabalho foi a qualificação dos funcionários envolvidos na triagem. As recepcionistas, por exemplo, foram qualificadas para analisar cada caso e direcioná-lo para a área adequada. Para os casos mais complexos, uma enfermeira especializada irá analisar o caso e realizará alguns exames preliminares para garantir o direcionamento mais preciso. Por fim, a equipe de médicos irá realizar o atendimento e solicitará os exames e direcionamentos mais complexos.

A iniciativa de qualificar os funcionários que realizam os primeiros atendimentos permitiu que o tempo total do paciente no processo de triagem diminuísse, além de melhorar o direcionamento dos pacientes para os médicos das especialidades corretas. A partir dos testes de cenário realizados na modelagem via simulação, pode haver redução de até 26% no tempo total da triagem, permitindo que o paciente tenha atendimento médico especializado mais rapidamente (RUOHONEN; NEITTAANMAKI; TEITTINEN, 2006).

Em outro trabalho realizado nos Estados Unidos, na Pensilvânia, Mahapatra *et al.* (2003), via SED, testaram uma série de cenários para um novo sistema de apoio à decisão usando um método de classificação de gravidade que determina o nível de prioridade de atendimento dos pacientes.

Em situações em que grandes tragédias ocorrem ou acidentes envolvendo grandes volumes de feridos, um procedimento prévio para uma série de atividades precisa ser programado, inclusive para a área da triagem. Saber como receber considerável volume de pacientes e propiciar o direcionamento correto é fundamental. Um dos mecanismos primordiais em sistemas de triagem são os índices de gravidade aparente. Quando bem treinada, as equipes responsáveis pelo recebimento das chamadas e pelo atendimento primário (em SMEs) ou pelas áreas de triagem de centros de emergência são capazes de direcionar os pacientes em agravo para os hospitais, setores e departamentos corretos, permitindo, assim, um atendimento mais rápido e acertado (CONE; MACMILLAN, 2005).

Ainda segundo Cone e Macmillan (2005), uma série de sistemas de triagem foi desenvolvida nos últimos anos, mas, curiosamente, o número de sistemas testados quanto à sua eficiência não é tão numerosos. Eles chamam a atenção para a extrema utilidade dos

sistemas de triagem, mas também reiteram a importância de verificar se o sistema escolhido para centro de saúde, SME ou hospital realmente será capaz de atender com eficiência ao processo de identificação, seleção e direcionamento de pacientes.

Na literatura existem diversos critérios para classificação de risco que devem ser estudados e selecionados de acordo com as características do cenário prático. Anziliero (2011) relata que as primeiras aplicações são oriundas das décadas de 1950 e 1960 e as principais escalas conhecidas são a australiana (*American Thoracic Society - ATS*), a canadense (*Canadian Triage & Acuity Scale - CTAS*), a americana (*Emergency Severity Index - ESI*) e o Sistema de Triagem de Manchester (STM), sendo esta última a mais utilizada.

Outros estudos também poderão auxiliar os pesquisadores, trazendo exemplos de situações em contextos semelhantes, sendo: Garcia *et al.* (1995), Guo, Wagner e West (2004), Gunal e Pidd (2006), Ruohonen, Neittaanmaki e Teittinen (2006) e Cabrera, Luque e Taboada (2012).

#### **6.4 Problema de custos elevados ou acima da meta em sistemas de saúde**

A FIG. 18 apresenta a metodologia para abordagem do problema de custos elevados ou acima da meta em sistemas de saúde.

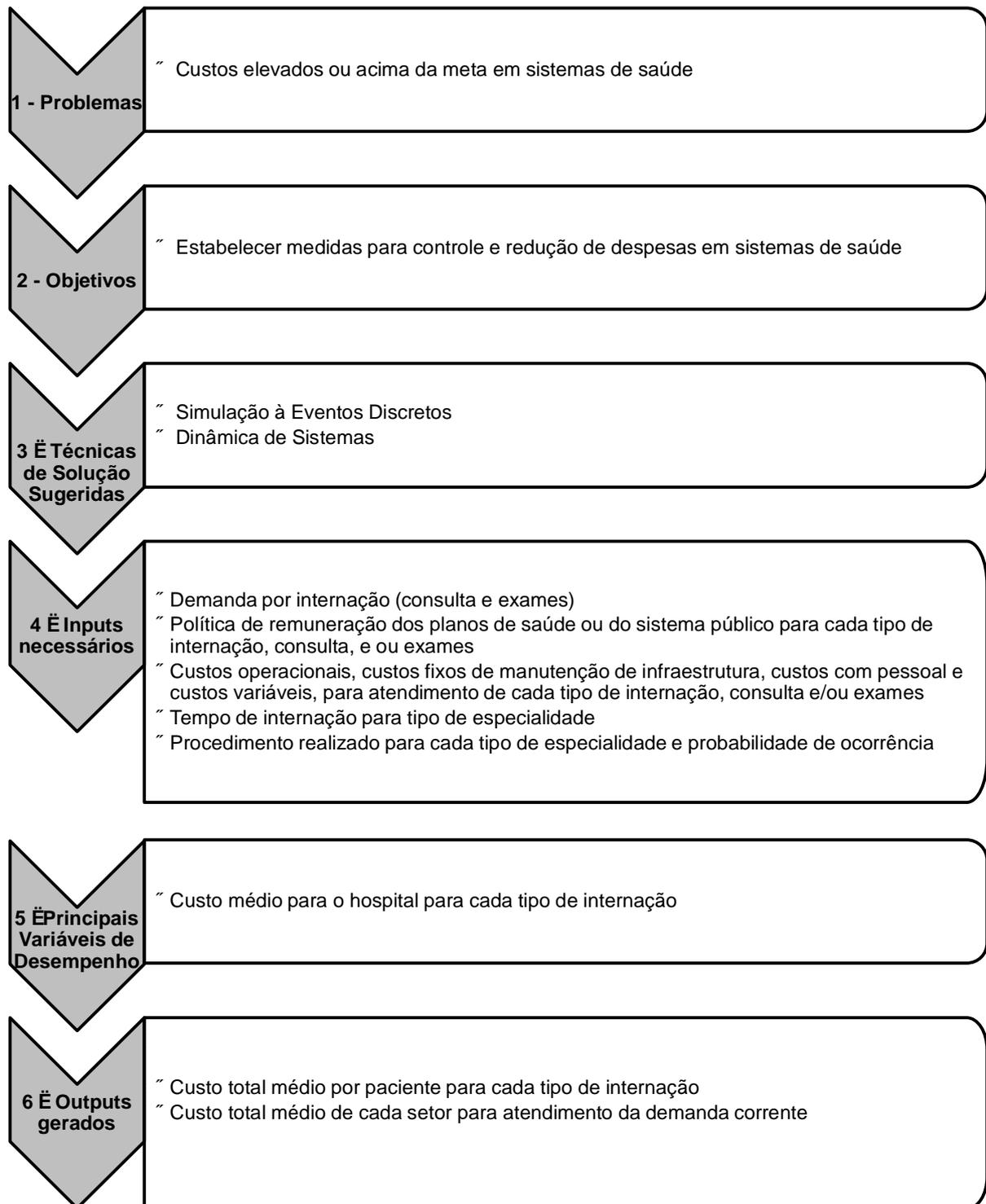


FIGURA 18 - Metodologia proposta para problema de custos elevados ou acima da meta em sistemas de saúde

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

#### 6.4.1 Detalhamento das etapas propostas

Em sistemas médicos, recursos financeiros são escassos. O uso intensivo de mão-de-obra qualificada, procedimentos e equipamentos que envolvem alta tecnologia e a crescente pressão para atendimentos cada vez mais efetivos fazem com que a racionalização de recursos seja uma prioridade. O uso de ferramentas para análise dos processos pode auxiliar na análise de utilização dos recursos envolvidos, buscando aumentar a eficiência das equipes de saúde, otimizando o uso de salas, departamentos e equipamentos, liberando, dessa forma, recursos para investimentos em áreas prioritárias.

Com demandas tão variadas e complexas, não é pouco frequente verificar hospitais e unidades de saúde (sejam as geridas pelo setor público, pelas instituições filantrópicas ou pelos conglomerados empresariais), passando dificuldades para gerir suas finanças. Desta forma, o objetivo de estabelecer medidas para controle e redução de despesas em sistemas de saúde é uma constante.

Neste estudo, técnicas oriundas das áreas de finanças, contabilidade e correlatas não serão exploradas. Aqui, o uso das técnicas de SED e de DS serão propostas com o objetivo de buscar melhorias de processo, sejam operacionais ou mais estratégicas.

Para o uso efetivo dessas ferramentas, alguns dados iniciais precisarão ser levantados, tais como a Demanda por internação (consulta e exames), a política de remuneração dos planos de saúde ou do sistema público para cada tipo de internação, consulta, e ou exames, os custos operacionais, custos fixos de manutenção de infraestrutura, custos com pessoal e custos variáveis, para atendimento de cada tipo de internação, consulta e/ou exames, o tempo de internação para tipo de especialidade e o procedimento realizado para cada tipo de especialidade e probabilidade de ocorrência.

Um ponto chave para racionalização das despesas em uma unidade de saúde está em estabelecer uma política de remuneração adequada por parte dos planos de saúde e do sistema público de saúde. Muitas vezes, o valor recebido não é suficiente para cobrir as despesas e geram um problema de caixa que contribui para o desequilíbrio do orçamento.

De posse dessas informações (ou pelo menos em parte dela), uma série de análises podem ser realizadas. Por exemplo: redesenhos de *layout*/rearranjos físicos; remanejamento de equipes; novas frentes de atuação; e redesenhos na grade de funcionamento da unidade. Essas configurações são testadas em cenários computacionais com o apoio das técnicas selecionadas (sejam essas ações de ordem mais operacional ou também de cunho mais estratégico).

A principal variável de desempenho nesse problema será o custo médio para o hospital para cada tipo de internação. A título de exemplo, um caso comum de internação são os casos

de pacientes com pneumonia. As unidades de saúde, podem ser remuneradas por dia de internação, limitado a um número pré-fixado, dependendo da gravidade da doença (que pode ser caracterizada como Nível I, nível II e nível III). É um desafio para o hospital, prestar um serviço adequado, sem contudo, extrapolar o custo previsto para este tratamento.

Realizadas as modelagens, testes de cenário e de configurações, as mais viáveis podem ser levadas à prática, buscando racionalizar o uso dos recursos financeiros. São medidas que podem auxiliar os gestores da unidade de saúde em entender se as ações propostas foram suficientes para melhorar indicadores, tais como o custo total médio por paciente para cada tipo de internação e custo total médio de cada setor para atendimento da demanda corrente.

#### **6.4.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

Adam, Sy e Li (2011) relatam que equilibrar as receitas e despesas em sistemas de saúde é tarefa árdua, principalmente porque as despesas muitas vezes não são identificadas adequadamente e crescem em ritmo acelerado. Em estudo realizado em Cingapura, os autores utilizaram modelagem via DS para estudar em nível estratégico as políticas de saúde, visando identificar os sistemas e subsistemas existentes, bem como mapear suas complexas relações e suas influências no aumento dos custos.

O uso da técnica de simulação permite conhecer melhor o sistema e ainda identificar suas interações. Observou-se, por exemplo, que o aumento da expectativa de vida da população impacta diretamente no uso das unidades de saúde e na contratação de médicos, enfermeiros e equipamentos. Outra questão estratégica que pressiona os custos para cima é a necessidade de investimentos acima do percentual do Produto Interno Bruto (PIB) destinado à saúde. Do ponto de vista operacional, uma fatia maior de investimento seria necessária para manter o sistema funcionando de maneira adequada (ADAM; SY; LI, 2011).

Ainda no estudo de Adam, Sy e Li (2011) apurou-se que alguns subsídios para classes mais pobres são utilizados indevidamente por pessoas que têm mais poder aquisitivo. Outro elemento identificado é a utilização do sistema pelos imigrantes em longo prazo, o que provavelmente irá acontecer no futuro quando estiverem mais velhos e, portanto, mais vulneráveis. O último fator identificado está na ocupação de leitos por pacientes já

restabelecidos de seus tratamentos. Ou seja, pacientes ficando internados nas unidades de saúde por mais tempo que o necessário, reduzindo a disponibilidade de leitos, equipes médicas e recursos para quem realmente precisa.

O uso de DS como técnica para melhorar o entendimento do sistema e ainda para testar a influência de alguns elementos nos custos em sistemas médicos de Cingapura foi muito consistente, porém, em virtude da complexidade do tema, outras técnicas poderão ser utilizadas em conjunto para identificar e implementar mecanismos para redução ainda mais das despesas (ADAM; SY; LI, 2011).

A necessidade de reduzir custos na área de saúde proporciona iniciativas para aumentar a eficiência operacional de forma sistemática. Guo, Wagner e West (2004) utilizaram em um hospital infantil em Cincinnati, Estados Unidos, SED e outros *softwares* para uma série de testes de cenários, buscando as melhores rotinas que permitiam conciliar a agenda dos profissionais de saúde (que também atuam em outras frentes além do atendimento no hospital), das demandas de atendimento da população e da capacidade de atendimento do centro de Oftalmologia.

Contribuindo nessa temática, Sinreich e Marmor (2004) desenvolveram uma modelagem via SED para o departamento de emergência de um hospital, envolvendo as equipes médicas e usando o recurso de animação para aumentar a confiança dos envolvidos nas ações para redução das despesas. A principal contribuição desse estudo foi propor uma modelagem geral que poderá ser levada para outras unidades de saúde e com pequenas adaptações ser utilizada.

## **6.5 Problema de dimensionamento de recursos em unidades de saúde**

A FIG. 19 apresenta a metodologia para abordagem do problema de dimensionamento de recursos em unidades de saúde.

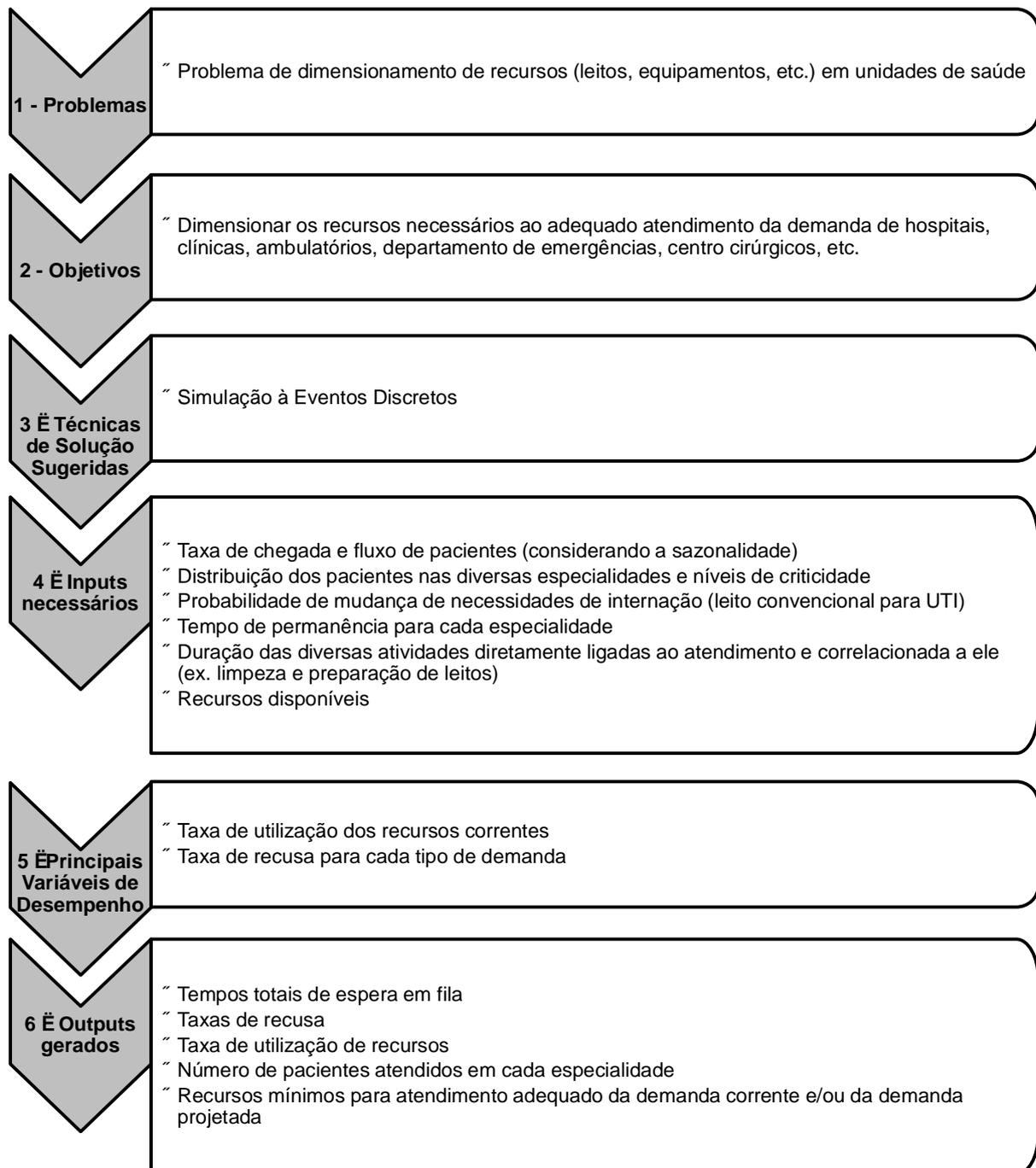


FIGURA 19 - Metodologia proposta para problema de dimensionamento de recursos em unidades de saúde

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.5.1 Detalhamento das etapas propostas

Sistemas de saúde estão funcionando rotineiramente acima de sua capacidade de atendimento. Estudos de dimensionamento de recursos em hospitais, clínicas, ambulatorios, departamento de emergências e centro cirúrgicos são de fundamental importância para atingir

o objetivo de identificar quantos atendimentos podem ser realizados por período e, por sua vez, permitir aos gestores da unidade administrar o fluxo de pacientes de forma a prestar atendimento com o máximo de qualidade.

A técnica mais verificada para auxiliar nesse processo foi a modelagem via SED. Em virtude da natureza estocástica do fluxo de chegada dos pacientes, das variações de complexidade nos procedimentos cirúrgicos e nas consultas, torna-se a simulação uma ferramenta importante para o analista estudar a dinâmica das áreas da saúde e dimensionar de forma realista sua capacidade de atendimento.

Em estudos de dimensionamento de recursos, seja em unidades de saúde já existentes, seja em unidades que estão ainda em fase de projeto e construção, haverá demanda de algumas informações fundamentais para a construção do modelo, tais como a taxa de chegada e fluxo de pacientes (considerando a sazonalidade), a distribuição dos pacientes nas diversas especialidades e níveis de criticidade, a probabilidade de mudança de necessidades de internação (leito convencional para UTI), o tempo de permanência para cada especialidade

Duração das diversas atividades diretamente ligadas ao atendimento e correlacionada a ele (ex. limpeza e preparação de leitos) e por fim os recursos disponíveis.

Todos esses parâmetros deverão ser utilizados para confrontar a capacidade teórica do sistema com a disponibilidade real (dos postos de trabalho, equipes, equipamentos, dentre outros). Em alguns casos, em virtude de problemas na administração dos recursos humanos e materiais, a disponibilidade real do sistema cai e sua capacidade teórica de atendimento tem que ser revista.

Algumas ações reconhecidas como a reestruturação de *layout*/arranjos físicos, reconfigurações das equipes e postos de trabalho e reestruturação de procedimentos e rotinas de atendimento poderão ser analisadas no modelo de simulação computacional desenvolvido. E poderão auxiliar decisivamente no processo de entendimento da capacidade real do sistema, seja em situações de rotina, seja em situações críticas de pico de demanda de usuários.

Ao final da implementação e da análise dos diversos cenários testados, as variáveis de desempenho fundamentais que precisam ser avaliadas serão a taxa de utilização dos recursos correntes e a taxa de recusa para cada tipo de demanda. Sendo esta última, um elemento crítico principalmente no SUS, que apresentam uma taxa de recusa considerável, onde o atendimento ao paciente é negado em virtude de não haver capacidade para realiza-lo.

Os cenários gerados computacionalmente também permitirão aos analistas e demais envolvidos comparar outros *outputs*, buscando melhor configuração de dimensionamento dos recursos. Essas saídas são, entre outras possíveis, tempos totais de espera em fila, as taxas de

recusa, a taxa de utilização de recursos, o número de pacientes atendidos em cada especialidade e ainda os recursos mínimos para atendimento adequado da demanda corrente e/ou da demanda projetada.

Neste tipo de problema, a técnica de otimização para simulação também poderá ser explorada. Um exemplo seria quando há necessidade de determinar o número mínimo de leitos necessários para o atendimento de uma determinada demanda com taxa de recusa inferior a um valor pré-determinado e/ou tempos de espera máximos pré-definidos.

### **6.5.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

Dimensionar de forma adequada centros cirúrgicos, ambulatórios e departamentos de emergência é diferencial que, além de aumentar a produtividade, permite também atenção mais adequada aos pacientes. Em estudo de SED em uma clínica de cirurgia ambulatorial, foi alcançada configuração ideal para dimensionar o número máximo de cirurgias por dia, considerando o número de leitos para preparação do paciente, os leitos para internação transitória e, por fim, a configuração da sala de cirurgia. Para este estudo foram coletados dados do sistema real e ainda coletada a opinião das equipes médicas e dos anestesistas. O processo de validação do modelo também obedeceu a esta última sistemática (RAMIS; PALMA; BAESLER, 2001).

Em outra pesquisa aplicada, Ballard e Kuhl (2006) utilizaram SED para identificar a capacidade máxima que um centro cirúrgico pode atender, considerando como premissas o atendimento da satisfação do cliente e ainda mantendo um nível aceitável de produtividade e eficiência. Importante contribuição deste estudo é que ele pode ser replicado em outras unidades, considerando-se as características do fluxo de pacientes, a disponibilidade de recursos materiais e humanos. Após a aplicação da técnica, os níveis de ocupação evoluíram de 50,5% para uma média superior a 80%.

Identificar e entender a demanda é uma das tarefas primordiais em um estudo de dimensionamento. Isken, Ward e McKee (1999), utilizaram SED em uma clínica obstétrica, para dimensionar e alocar adequadamente os recursos. Foram analisadas questões relacionadas a demanda, agendamento de consultas, alocação de sala de exame, padrões de

fluxo de pacientes e funcionários. Um dos maiores desafios verificados foi lidar com a alternância das equipes médicas, em virtude do sistema de atendimento por plantão. Esse estudo também buscou identificar e mapear o comportamento do sistema quando pacientes de emergência chegam buscando atendimento e congestionam o fluxo de atendimento de pacientes agendados.

Takakuwa e Katagiri (2007), em estudo-piloto realizado em uma enfermaria de um hospital japonês (Hospital Universitário de Nagoya), investigaram o impacto na rotina do departamento do fluxo de pacientes e ainda como essa variável contribui para a formação de congestionamentos. A partir de uma modelagem via simulação, com coleta de dados realizada via registro eletrônico das atividades, foi possível verificar que o tempo de espera pelo atendimento é significativamente superior ao tempo da consulta, agravados principalmente para atendimentos urológicos e psiquiátricos. O modelo permitiu principalmente que o fluxo de pacientes e o volume de congestionamentos fossem identificados, podendo futuramente ser replicados em larga escala no Hospital Universitário.

A partir do problema da falta de capacidade e conseqüente tempo de espera elevado, Gunal e Pidd (2007) propuseram, em nível estratégico, uma modelagem que objetiva contemplar todo um hospital via SED. Essa unidade de saúde foi dividida em três grandes blocos: emergência, ambulatorios e unidades de internação. Para cada uma delas um modelo conceitual foi desenvolvido.

Em virtude da natureza estocástica do fluxo de chegada dos pacientes, das variações de complexidade nos procedimentos cirúrgicos e nas consultas, a SED torna-se uma ferramenta adequada para ser adotada. Dos três modelos propostos, a modelagem do departamento de emergência parece ter um nível de detalhes suficientemente adequado para ser replicada em outras unidades de saúde. Os modelos propostos para o ambulatório e para as unidades de internação necessitam de adequação de acordo com o porte da unidade de saúde a ser estudada (GUNAL; PIDD, 2007).

Uma pergunta difícil de responder é sobre o número adequado de recursos físicos e materiais necessários para suprir o crescente aumento de demanda. Holm e Dahl (2009), em um hospital universitário, precisaram fazer esse levantamento para um incremento de 45% no volume de pacientes. Por meio de um estudo de simulação específico para o departamento de emergência, foi avaliada uma série de cenários e foi possível identificar que o aumento das equipes de enfermagem e das equipes médicas seria da ordem de 12 e 34%, respectivamente. Serão necessários também acréscimo no número de leitos e adequada gestão dos recursos humanos, principalmente nos horários de pico.

Uma modelagem para todo o hospital foi desenvolvida e será importante para verificar a influência do aumento do volume de pacientes nos departamentos de forma dinâmica. As equipes médicas, por exemplo, deverão ser racionalizadas e concentrar-se em quadros de mais gravidade e emergência. Esse estudo global e dinâmico permitirá melhor dimensionamento da equipe, dos equipamentos e do espaço físico da unidade (HOLM; DAHL, 2009).

Outros autores também poderão auxiliar os pesquisadores, trazendo exemplos de situações em contextos semelhantes, sendo: McGuire (1994), Kirtland *et al.* (1995), Wijewickrama e Takakuwa (2006), Zeltyn *et al.* (2009), Cabrera, Luque e Taboada (2012), Chonde, Parra e Chang (2013) e Mocarzel *et al.* (2013).

## **6.6 Problema de *layout*/arranjo físico gerando perda de eficiência em hospitais e unidades de saúde**

A FIG. 20 apresenta a metodologia para abordagem do problema de *layout*/arranjo físico gerando perda de eficiência em hospitais e unidades de saúde.

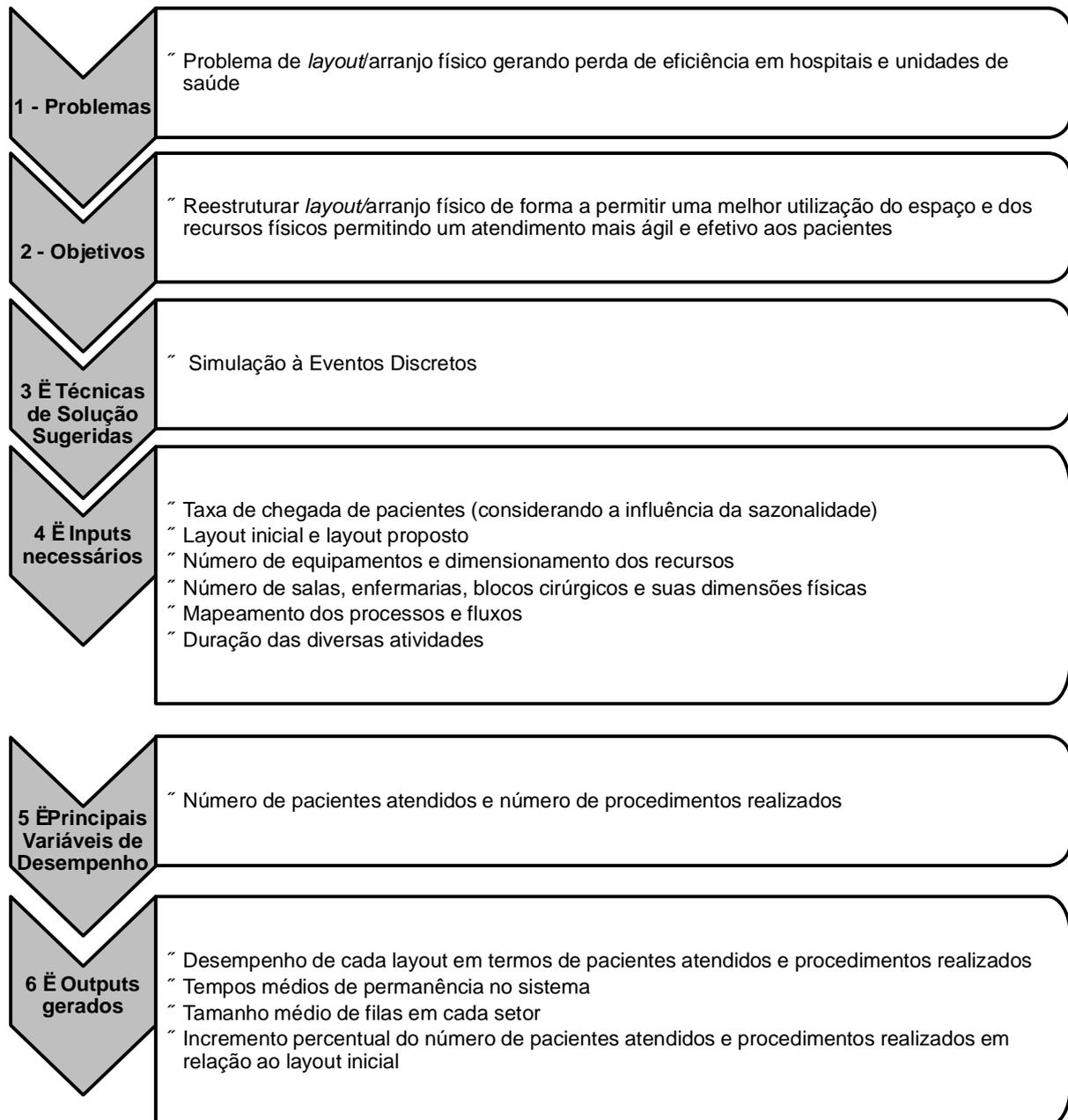


FIGURA 20 - Metodologia proposta para problema de *layout*/arranjo físico gerando perda de eficiência em hospitais e unidades de saúde

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.6.1 Detalhamento das etapas propostas

Problemas de *layout*/arranjo físico geram constantes perdas de eficiência em hospitais e unidades de saúde. É recorrente verificar em leitos, salas de espera, recepções, entre outros espaços, com a disposição dos equipamentos, servidores e demais recursos pouco produtivos, dificultando o fluxo de pessoas, equipamentos de transporte, materiais de insumo, entre

outros. Outra consequência gerada, talvez a mais drástica, é que a falta de análise racional do espaço físico e da disposição dos recursos reduz o número de atendimentos e procedimentos realizados, por não se aproveitar de maneira racional o espaço existente.

O objetivo dessa metodologia, portanto, é indicar uma técnica e um conjunto de subsídios que poderão auxiliar na reestruturação dos *layouts*/arranjos físicos de forma a permitir melhor utilização do espaço e dos recursos, possibilitando atendimento mais ágil e efetivo aos pacientes.

A técnica indicada aqui para implementação de melhoria é a SED. Ela se mostra muito eficiente em estudos para melhorar o fluxo de pacientes, número de atendimentos e procedimentos com readequações de *layout*/rearranjos físicos, seja em unidades de saúde em funcionamento, seja em unidades que estejam em fase de projeto ou construção.

A representação inicial do *layout* do local e as propostas de alteração (ambulatório, sala de cirurgia, departamento de emergência, entre outros) com a disposição dos equipamentos, o fluxo de materiais, de profissionais e de pacientes, as dimensões físicas, o número de recursos, entre outros elementos, faz parte do primeiro conjunto de informações quando se deseja desenvolver um estudo desse tipo.

De posse dessas informações, será necessário também conhecer com detalhes o funcionamento da área que está sendo trabalhada. Uma boa prática nessa fase é realizar o mapeamento do processo a ser estudado, identificando os clientes, os fornecedores, os elementos de entrada, as principais saídas geradas, o sequenciamento das atividades e procedimentos mais rotineiros, os recursos materiais envolvidos, a disposição e configuração das equipes de trabalho, entre outros.

Da mesma forma que sinalizado nos estudos anteriores, algumas informações-chave também deverão ser obtidas. Os principais dados serão a taxa de chegada de pacientes (considerando a influência da sazonalidade), o número de equipamentos e dimensionamento dos recursos, também o número de salas, enfermarias, blocos cirúrgicos e suas dimensões físicas e a duração das diversas atividades.

No momento da implementação, validação e testes computacionais do modelo de simulação, as principais variáveis de desempenho serão o número de pacientes atendidos e o número de procedimentos realizados.

Um estudo desse tipo deve considerar uma série de elementos críticos, como desempenho de cada *layout* em termos de pacientes atendidos e procedimentos realizados, os tempos médios de permanência no sistema, o tamanho médio de filas em cada setor, o

incremento percentual do número de pacientes atendidos e procedimentos realizados em relação ao layout inicial.

Com a proposta também será interessante apresentar a nova capacidade de atendimento do sistema, considerando-se os postos de trabalho, as equipes envolvidas, os novos fluxos de materiais, funcionários e pacientes e o posicionamento dos equipamentos, entre outros fatores. Por fim, o novo processo mapeado deve ser apresentado, identificando os principais clientes, os fornecedores, as principais entradas, as principais saídas geradas, o novo sequenciamento, etc.

### **6.6.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

Em estudo de SED, Sepúlveda *et al.* (1999) avaliaram o impacto da implantação de *layouts* alternativos em um novo prédio de um centro de tratamento de câncer. A partir da modelagem foi representado o fluxo de pacientes, bem como os recursos humanos e físicos, tais como médicos, enfermeiros, técnicos de laboratório, recepcionistas, salas, leitos, farmácia e laboratórios. Os dados de entrada para modelagem foram coletados com base em alguns parâmetros como tempo com o médico, tempo realizando exames, tempo aguardando, entre outros.

Como ações efetivas do estudo de *layout*, o laboratório e a farmácia foram transferidos para o mesmo andar do centro de tratamento ambulatorial, reduzindo tempo de transporte de medicamento para zero, haja vista que estes são entregues agora por uma janela que separa a farmácia do ambulatório. Na área de Oncologia, duas salas para coleta de sangue foram instaladas com pessoal treinado. A modelagem via simulação e as alterações de *layout* decorrentes dos testes de cenário trouxeram melhorias no fluxo de pacientes pelo centro, aumentando até 20% o número de pacientes atendidos sem alterar o horário de funcionamento. Com um novo prédio, a capacidade do centro pode aumentar em mais de 100% (SEPÚLVEDA *et al.*, 1999).

Osidach e Fu (2003) descreveram como as decisões de *layout* podem trazer ganhos, quando se compara a relação custo *versus* benefício. A partir de cenários propostos, testes foram realizados de maneira a verificar qual era o mais adequado. O reposicionamento de

equipamentos, equipes e acessórios permitiu que o fluxo de pacientes fosse avaliado de várias formas, podendo posteriormente implantar os mais interessantes.

Uma modelagem de SED foi desenvolvida para examinar os impactos operacionais de alterações da capacidade, rearranjo físico e melhorias de processo em um hospital que está mudando de local. Originalmente a unidade de saúde atende a cerca de 640 leitos e na nova unidade contará apenas com 600 unidades. Nesse estudo, o objetivo foi otimizar o fluxo de pacientes observando-se os impactos em outras partes interdependentes do hospital, como o departamento de emergência e as salas de cirurgia em uma nova unidade. Com a utilização da modelagem e dos testes de cenário, espera-se identificar as configurações mais adequadas para melhorar a eficiência do hospital, a fim de atender mais pacientes com menos quantidade de recursos (ASHBY *et al.*, 2008).

### **6.7 Problema de ineficiência da gestão de medicamentos da farmácia hospitalar**

A FIG. 21 apresenta a metodologia para abordagem do problema de ineficiência da gestão de medicamentos da farmácia hospitalar.

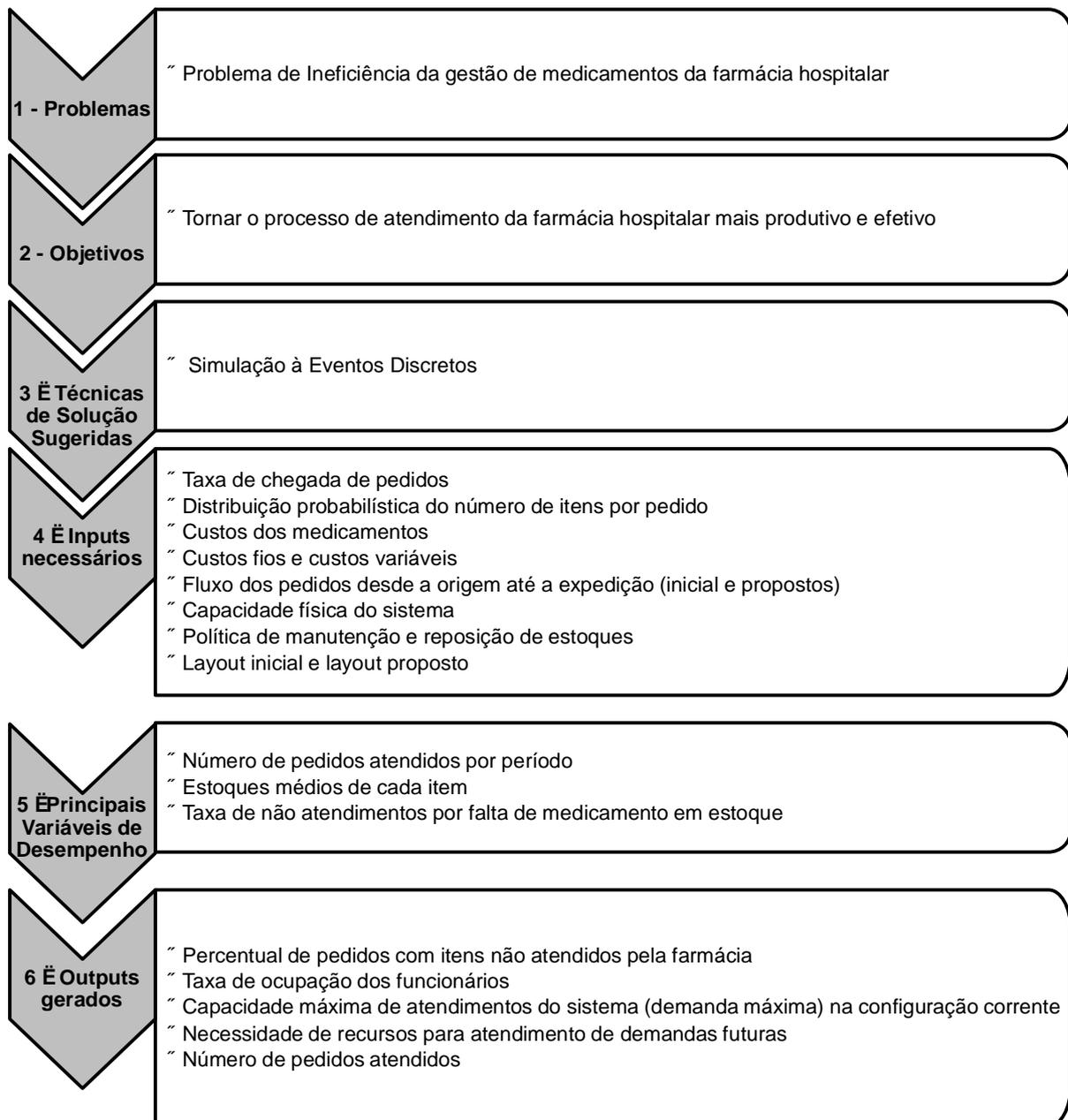


FIGURA 21 - Metodologia proposta para problema de gestão de medicamentos de farmácia hospitalar

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.7.1 Detalhamento das etapas propostas

As farmácias hospitalares têm importante papel no processo de atendimento de pacientes em unidades de saúde. A prescrição correta e em tempo, além de permitir ao usuário um tratamento adequado, propicia à unidade de saúde racionalizar seus recursos e tratar o

paciente para alta no mínimo tempo possível. Acontece que nem sempre as farmácias são geridas adequadamente e problemas de ineficiência na gestão de medicamentos ocorrem, acarretando atrasos no atendimento dos pacientes, custos elevados, má-utilização do espaço físico, burocracia nos processos de retirada e distribuição de medicamentos, entre outros.

Sendo assim, os gestores das unidades de saúde buscam de forma contínua tornar o processo de atendimento da farmácia hospitalar mais produtivo e efetivo, sendo ao mesmo tempo ágil, criterioso e com rigoroso controle de custos. Para se alcançar tais objetivos, a técnica de SED é sugerida para modelagem, estudo de cenários e proposição de novas configurações.

Alguns elementos de entrada deverão ser coletados, tratados e analisados para utilização na modelagem computacional. Estão listados em seguida alguns de vários dados possíveis para um estudo desse tipo, destacando-se: a taxa de chegada de pedidos, a distribuição probabilística do número de itens por pedido, os custos dos medicamentos, os custos fixos e custos variáveis, os fluxos dos pedidos desde a origem até a expedição (inicial e propostos), a capacidade física do sistema, a política de manutenção e reposição de estoques.

Para unidades de saúde de maior porte, estudos de readequação de *layout*/arranjo físico também poderão ser realizados nas farmácias, levando-se em consideração o número de equipamentos, o fluxo de materiais e de funcionários e o número de salas com suas respectivas dimensões.

No processo de implementação computacional e realização dos testes de cenário, algumas respostas deverão ser obtidas, com o intuito de se buscar a melhor configuração viável para o processo em estudo. As principais variáveis de desempenho nesse caso serão o número de pedidos atendidos por período, os estoques médios de cada item e a taxa de não atendimentos por falta de medicamento em estoque.

Alguns elementos de saída (*outputs*) importantes nesse caso serão o percentual de pedidos com itens não atendidos pela farmácia, a taxa de ocupação dos funcionários, a capacidade máxima de atendimentos do sistema (demanda máxima) na configuração corrente, a necessidade de recursos para atendimento de demandas futuras e o número de pedidos atendidos.

Novas representações de *layout*/rearranjo físico também deverão ser apresentadas, bem como o novo processo mapeado (identificando clientes, fornecedores, *inputs*, *outputs*, sequenciamento). Todas essas iniciativas têm como propósito principal obter incremento no número de atendimentos/procedimentos por período, trazendo redução de despesas, aumento de eficiência e tratamento mais adequado aos pacientes que utilizam a unidade de saúde.

### **6.7.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

Wong *et al.* (2003) formularam um estudo de SED em uma farmácia hospitalar, em elaborando dois modelos. Na primeira modelagem foi representado o sistema manual de solicitação de medicamentos. O segundo modelo representou a proposta de solicitação eletrônica, via sistema de informação, e foram realizadas simplificações no processo, reduzindo-se de 13 para seis etapas. Nos cenários testados foi possível verificar redução de aproximadamente 50% no tempo de atendimento da solicitação, bem como redução de erros na entrega de medicamentos.

As farmácias hospitalares desempenham importante papel na qualidade dos serviços prestados por uma unidade de saúde. Em um hospital na Turquia, estudo de simulação objetivou reduzir o tempo de espera dos pacientes pelos medicamentos, utilizando para isso um número mínimo de recursos. Em virtude das limitações, apenas a realocação de funcionários nos turnos foi testada e ainda uma alteração no *software*, que permitirá que os enfermeiros ou médicos deixem instruções para o turno seguinte, contribuindo para a redução de 36% no tempo das ordens de serviço. Os vários testes de cenário realizados, bem como o envolvimento da equipe, permitiram melhor conhecimento do processo, contribuindo indiretamente para a melhoria da qualidade do serviço prestado pelo hospital (YURTKURAN; EMEL, 2008).

Considerar a influência do fator humano em modelagens de simulação é muito importante, de acordo com Brailsford, Sykes e Harper (2006). Um paciente, por exemplo, poderá decidir não dar continuidade no uso de um medicamento, em virtude dos efeitos colaterais, e essa informação no modelo de simulação talvez não fosse considerada. Neste estudo, um questionário com várias questões foi desenvolvido. A intenção foi identificar quais comportamentos de interesse eram mais repetidos pelos usuários, sendo esta questão muito importante para análise da efetividade dos tratamentos oriundos das farmácias hospitalares. Com base nessas métricas, estudo probabilístico foi realizado para detectar entre zero e um qual a incidência probabilística daquele comportamento em questão. A partir desses indicadores, a informação era incluída na modelagem.

## **6.8 Problema de tempo de espera elevado em filas de transplante**

A FIG. 22 apresenta a metodologia para abordagem do problema de tempo de espera elevado em filas de transplante.

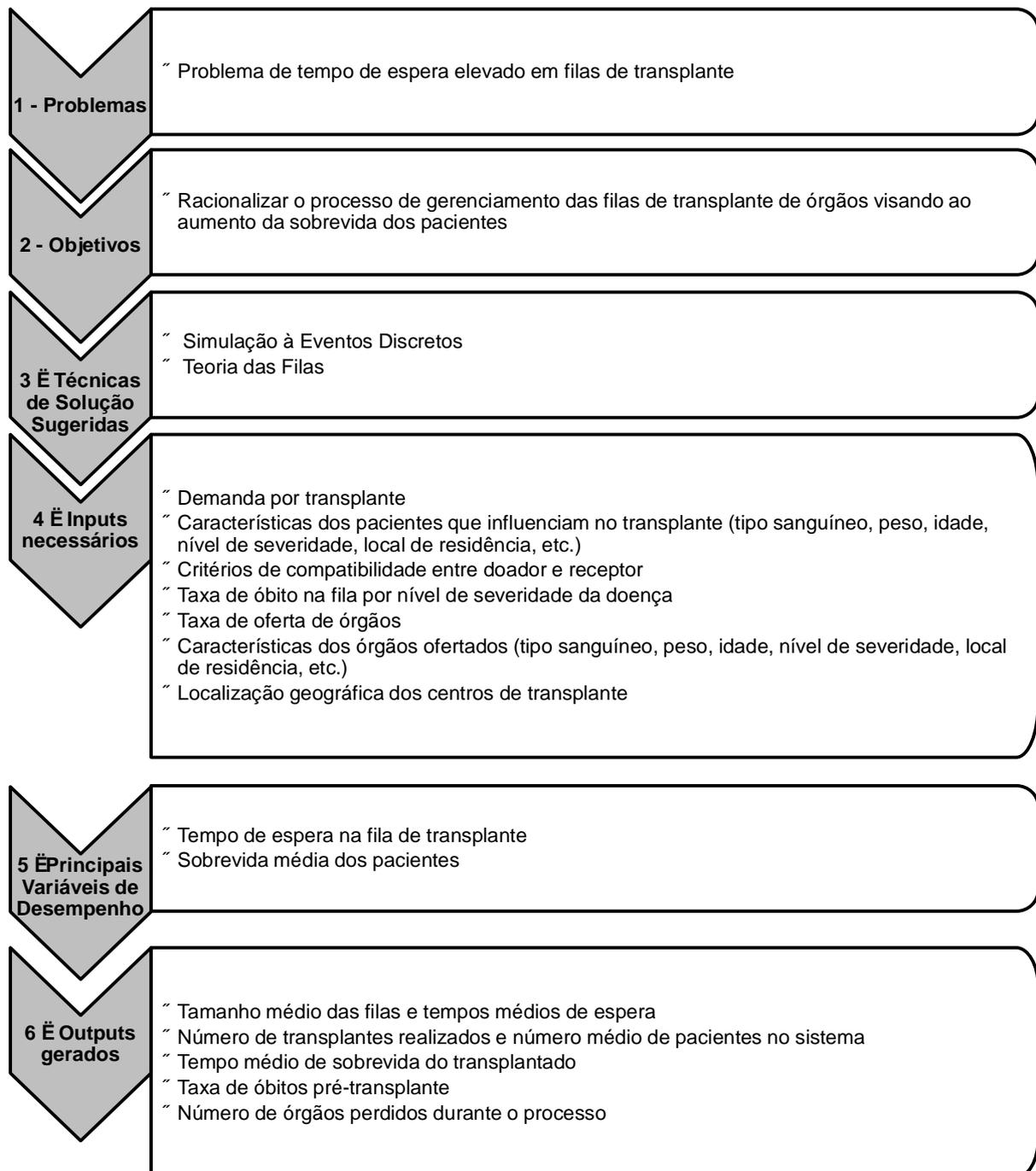


FIGURA 22 - Metodologia proposta para problema de tempo de espera em filas de transplante

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.8.1 Detalhamento das etapas propostas

As longas esperas em filas de transplante é um dos problemas mais críticos nos sistemas de saúde. O paciente, na maioria dos casos, não tem previsão muito clara de quando receberá o transplante para reabilitá-lo para uma vida estável. Os principais objetivos quando se pensa em transplantes de órgãos são a criação de uma política de cadastro,

acompanhamento e análise de gravidade dos pacientes com demanda de transplante e, não menos importante, a criação de um mecanismo de gerenciamento dos órgãos doados, dos potenciais doadores, das unidades de saúde habilitadas para realizar o procedimento e dos pacientes prioritários.

Duas técnicas que demonstram auxiliar na racionalização e otimização do processo de doação de órgãos atendendo pacientes por ordem de criticidade, verificadas na literatura (entre outras possíveis), são a SED e a teoria das filas.

Algumas informações importantes deverão ser coletadas, tratadas e constantemente atualizadas, em virtude do dinamismo da demanda de pacientes e da oferta de órgãos. Algumas informações serão vitais no processo de gestão de demanda e oferta, sendo: a demanda por transplante, as características dos pacientes que influenciam no transplante (tipo sanguíneo, peso, idade, nível de severidade, local de residência, etc.), os critérios de compatibilidade entre doador e receptor, a taxa de óbito na fila por nível de severidade da doença, a taxa de oferta de órgãos, as características dos órgãos ofertados (tipo sanguíneo, peso, idade, nível de severidade, local de residência, etc.), a localização geográfica dos centros de transplante.

Com a utilização das técnicas, espera-se identificar e analisar algumas informações-chave no processo de gestão de filas de transplante. As principais variáveis de desempenho serão o tempo de espera na fila de transplante e a sobrevida média dos pacientes. As saídas geradas pelo método, e fundamentais para gerir o processo, consistirão no tamanho médio das filas e tempos médios de espera, o número de transplantes realizados e número médio de pacientes no sistema, o tempo médio de sobrevida do transplantado, a taxa de óbitos pré-transplante e o número de órgãos perdidos durante o processo.

Com a gestão desses elementos, espera-se que haja mais previsibilidade no processo, que principalmente haja mais agilidade e transparência para os pacientes que aguardam em fila, tornando o processo de espera um intervalo de tempo de esperança e não de angústia.

Como complemento da proposta apresentada, a técnica de otimização via simulação também pode ser explorada, visando analisar as políticas de atendimento (primeiro que chega é o primeiro a ser atendido ou por prioridade ó de acordo com a complexidade, por exemplo), de forma a maximizar a sobrevida de pacientes.

## **6.8.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

Iyer *et al.* (2011) aplicaram SED para modelar o processo de atribuição de fígado na fila de transplante. Alguns critérios importantes como estimativa de sobrevida pré e pós-transplante foram considerados. O modelo também gera algumas estatísticas importantes, como o número de mortes na espera pelo órgão, comportamento da lista de espera, o número de transplantes realizados, o número de fígados perdidos durante o processo e as estimativas de sobrevida pré e pós-transplante, considerando o horizonte de tempo que o paciente aguarda.

A principal contribuição da modelagem no processo de transplante está em indicar qual o momento ideal para que o pacientes (adulto ou infantil) receba o órgão e tenha mais probabilidade de sobrevida. Esse indicador também é importante para estabelecer o critério de organização da fila, conciliando os casos que têm mais gravidade com os de maior probabilidade de sucesso. Com esse estudo, espera-se contribuir para revisão e modernização da política de doação e transplante de órgãos (IYER *et al.*, 2011).

Davis *et al.* (2013) abordam também a modelagem via SED para auxiliar na construção de políticas mais adequadas para transplante de rim. A partir de uma base de dados real, a modelagem representa processos de chegada de pacientes e órgãos, verificando e validando um horizonte de 20 anos. O projeto, denominado *Ksim*, usou uma base de dados entre os anos de 1990 e 2009 e foi validado buscando representar todas as distribuições de entrada. Espera-se que essa ferramenta seja útil na definição de políticas e principalmente contribua salvando vidas.

No Brasil, mesmo sendo o país que mais realiza transplantes no mundo na esfera pública, ainda há representativa defasagem entre a oferta e demanda de transplantes de órgãos humanos. Alguns motivos podem auxiliar na explicação do descompasso existente entre quem precisa da doação de órgãos e entre a população que poderia realizar as doações, podendo-se destacar: problemas de compatibilidade, limitação das doações a partir de mortos e dos vivos, o tamanho e infraestrutura limitante da maioria dos hospitais, a deterioração dos órgãos no processo de transporte e a expansão da demanda (MARINHO, 2006).

Ainda segundo Marinho (2006), um modelo simples de teoria das filas poderia ser empregado, mesmo sendo difícil, pois envolve um problema bastante complexo. São necessários, em princípio, para utilização do modelo, dados sobre os intervalos de tempo decorridos entre as chegadas dos pacientes e entre os inícios e os términos dos tratamentos nas

várias especialidades, clínicas e hospitais. No modelo  $M / M / s$ , existe basicamente a interação entre duas variáveis: a)  $R$  ó sendo esta a taxa média de chegada de pacientes para transplante (que é a variável representativa da demanda por transplante no SUS); b)  $S$  ó a taxa média de serviço, ou seja, o número de transplantes por unidade de tempo (que é a variável de oferta do serviço no sistema). Supondo-se que  $S > R$  e o modelo seja estável, podem-se buscar os demais elementos: número esperado de pacientes no serviço de transplante, tempo médio de espera total por transplante, número esperado de pessoas na fila de transplantes por dia, tempo médio esperado na fila dos transplantes.

### **6.9 Problema de proliferação de epidemias e pandemias**

A FIG. 23 apresenta a metodologia para abordagem do problema de proliferação de epidemias e pandemias.

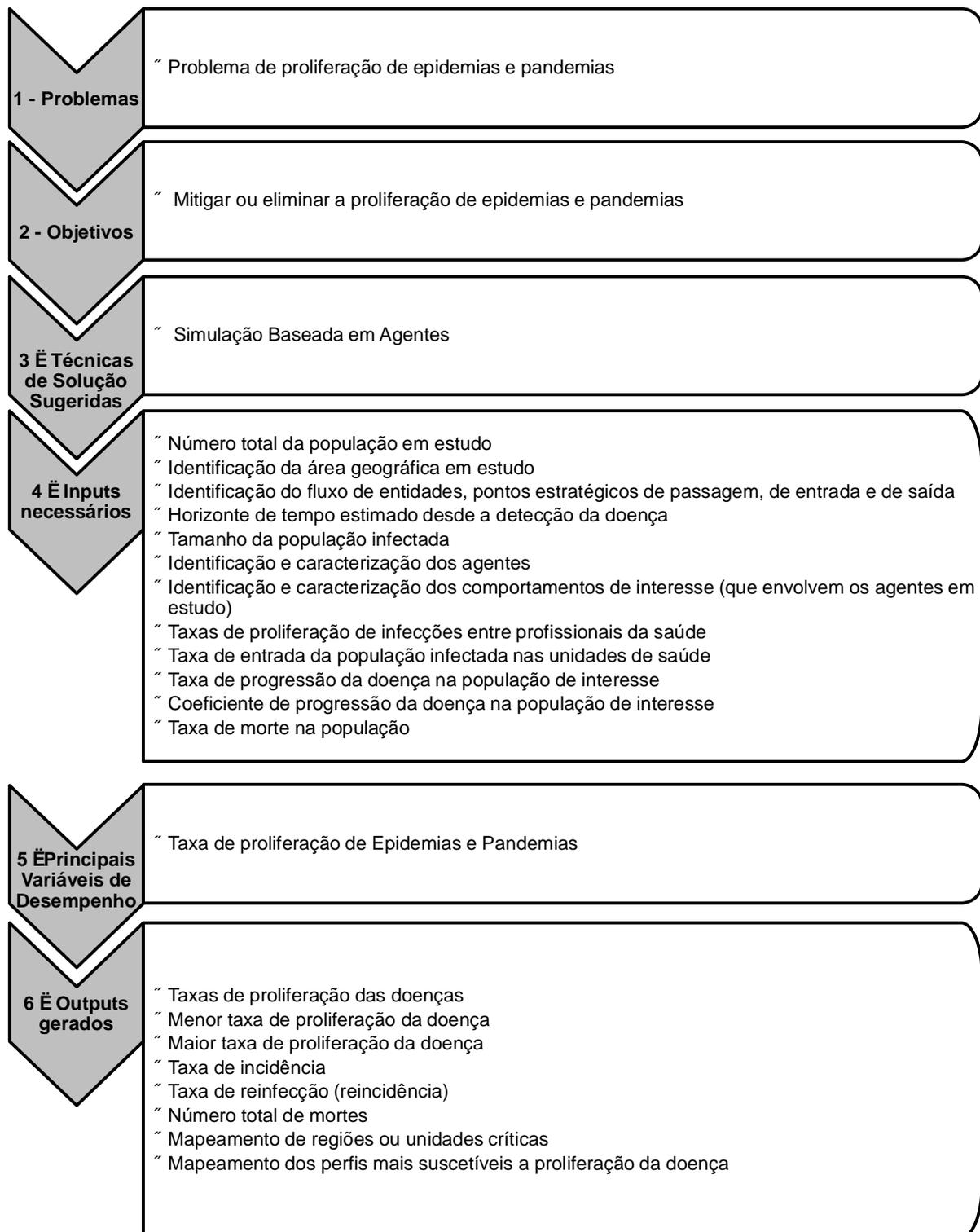


FIGURA 23 - Metodologia proposta para problema de proliferação de epidemias e pandemias

Fonte: elaborado pelo autor (2014).

### 6.9.1 Detalhamento das etapas propostas

Grandes eventos mundiais (tais como Copa do Mundo de futebol, Jogos Olímpicos, concertos de grandes artistas, entre outros), a possibilidade de parte da população mundial realizar viagens culturais e de assim ter contato com culturas diversas, visitar diferentes continentes, conhecer novas pessoas, isso de forma muito dinâmica e em um intervalo de tempo bastante curto abrem precedente para a circulação de micro-organismos patogênicos (vírus e bactérias, por exemplo) que podem provocar epidemias e pandemias em regiões onde uma doença não existia até então, o que traz grande preocupação para os gestores da área de saúde.

Regiões geográficas menores, tais como cidades, bairros, unidades de saúde, unidades presidiárias, complexos aeroportuários e uma série de outras instalações, também estão vulneráveis à proliferação de doenças. Sendo assim, mitigar, controlar ou eliminar a possibilidade de proliferação de epidemias e pandemias é uma constante.

Como auxílio nesse processo, equipes bem preparadas para lidar com o problema são de suma importância. Uma técnica que está sendo usada de forma crescente pelos técnicos de PO é a SBA. As funcionalidades da técnica, principalmente sua abordagem focada no comportamento de agentes, a conceituam como uma ferramenta útil no estudo de epidemias e pandemias.

Para realização do estudo, alguns elementos de entrada são de grande importância para a realização de adequada modelagem, implementação e testes de cenários. Informações como a identificação do número total da população em estudo, da área geográfica de interesse, do fluxo de entidades, os pontos estratégicos de passagem, de entrada e de saída, além do horizonte de tempo estimado desde a detecção da doença são imprescindíveis e decisivas na qualidade do estudo.

Outros dados que devem ser levantados são: o tamanho da população infectada, a identificação e caracterização dos agentes, a identificação e caracterização dos comportamentos de interesse (que envolvem os agentes em estudo), as taxas de proliferação de infecções entre profissionais da saúde (se estiver ocorrendo), a taxa de entrada da população infectada nas unidades de saúde, a taxa de progressão da doença na população de interesse, o coeficiente de progressão da doença na população de interesse e a taxa de morte na população estudada.

Com a implementação computacional, alguns parâmetros de saída precisam ser bem identificados, pois eles ajudarão no controle, mitigação e eliminação do agravo estudado. Alguns destes podem ser citados e auxiliarão nas medidas estratégicas, tais como: as taxas de proliferação das doenças, a menor taxa de proliferação da doença e a maior taxa de proliferação da doença, a taxa de incidência, a taxa de reinfecção (reincidência), número total de mortes (que não poderão ser evitadas), o mapeamento de regiões ou unidades críticas e o mapeamento dos perfis mais suscetíveis à proliferação da doença. Todas essas informações têm o caráter

extremamente dinâmico, necessitando serem atualizadas com frequência compatível com a complexidade da epidemia ou pandemia, pois essas informações auxiliarão decisivamente nas decisões estratégicas das autoridades envolvidas no processo.

O principal propósito de um estudo de SBA é auxiliar na previsão das taxas de proliferação de doenças, de forma a atuar com as medidas de controle o mais rapidamente possível, o que pode envolver medidas drásticas tais como o fechamento de aeroportos, controles de imigração, confinamento de determinados grupos de maior potencial de risco, a utilização de procedimentos severos de controle e proteção por parte dos profissionais de saúde envolvidos, entre uma outra série de medidas.

### **6.9.2 Referências complementares para auxiliar no desenvolvimento de trabalhos nesse tema específico**

Alguns trabalhos já referenciados neste estudo e outros destacados em seguida podem auxiliar os analistas e gestores interessados na aplicação desta proposta, trazendo exemplos de aplicação com resultados satisfatórios e implementações em contextos bem variados.

O controle de epidemias e pandemias está entre os tópicos mais importantes nas agendas de saúde pública das grandes nações. Em estudo realizado na cidade de Chicago (Estados Unidos), Macal *et al.* (2012) utilizaram SBA para modelar o processo de uma doença infecciosa com potencial de morte, oriunda da bactéria *Staphylococcus aureus*. Segundo os autores, utilizar a SBA é importante para estudar sistemas complexos, tais como os verificados nos problemas epidemiológicos. Neste estudo, o modelo representa os detalhes de contato e transmissão da doença entre os indivíduos nas suas rotinas diárias. No modelo são combinados dados oriundos do censo, de dados clínicos, de amostras individuais, de dados da literatura e ainda de relato de especialistas.

Em outro caso de proliferação de doença, Aleman *et al.* (2010) avaliaram uma pandemia de gripe em Ontário, no Canadá. O objetivo do estudo foi observar o comportamento das taxas de transmissão em diferentes cenários em uma população urbana, buscando alternativas para mitigar o problema. Nessa modelagem, os autores usaram SBA, sendo os agentes no modelo os indivíduos da população, podendo estar saudável, infectado ou recuperado (pós-infecção), considerando que, a cada período de tempo, o *status* pode mudar.

Com esse estudo foi possível mostrar que a SBA é uma ferramenta viável, principalmente por considerar aspectos que possibilitam mapear o comportamento do avanço da doença (como idade, residência, interação familiar, interação casual, localização geográfica

e uso do transporte público). O maior benefício do método está em propiciar às autoridades a possibilidade de trabalhar políticas públicas para reduzir as probabilidades de pandemias com campanhas de vacinação, fechamento de escolas e acompanhamento especial de infectados (ALEMAN *et al.*, 2010).

Kasaie, Dowdy e Kelton (2013), via SBA, também desenvolveram estudo para observar a transmissão do vírus da tuberculose pelo ar, sob diferentes redes de infectados. Para um único indivíduo infectado foi observada a frequência média de infestações durante todo o ciclo da doença (iniciada no instante zero e terminada no momento da cura ou morte do paciente), prevalecendo um número maior no início, tanto para quem tem contato muito próximo (mesma casa, por exemplo) como para quem tem contato eventual ou casual. Baseado nesse estudo, os autores afirmam que a SBA é uma plataforma flexível e poderosa para modelar a heterogeneidade da população no nível de indivíduo e no nível de grupos. E, ainda, consegue determinar a velocidade com que uma epidemia de tuberculose afetaria uma grande população, servindo como poderosa ferramenta de mitigação.

A transmissão de doenças em hospitais é também motivo de preocupação para gestores nas áreas de saúde. Barnes e Golden (2010) ressaltaram, por exemplo, como os enfermeiros e médicos, nas suas práticas profissionais, podem ser transmissores de vírus e bactérias para outras áreas nas unidades de saúde. Nesse estudo em questão, a simulação inicialmente considerou uma unidade de terapia intensiva com 20 pacientes e acusou no modelo o potencial de infecção que uma profissional de enfermagem teve de infectar pacientes que tinham mais suscetibilidade. Outros aspectos importantes verificados são as diferentes taxas de proliferação de infecções entre enfermeiros e médicos, bem como quando o número de profissionais aumenta. Outra constatação é sobre a partilha de atendimento de um paciente por mais de um profissional, o que contribuiu para o aumento da infecção.

Outros estudos também poderão auxiliar os pesquisadores, trazendo exemplos de situações em contextos semelhantes, sendo: Dibble (2010); Lizon, Aleman e Schwartz (2010), Kasaie, Dowdy e Kelton (2010), Beeler, Aleman e Carter (2012), Dibble, Wendel e Carle (2007) e Brandeau (2004).

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESDOBRAMENTOS FUTUROS

O desenvolvimento de estudos que visam à melhoria de desempenho das diversas áreas da saúde é crescente e eles tendem a ser cada vez mais numerosos no futuro. Isso se dá fundamentalmente porque as demandas por melhoria são constantes e a expectativa do usuário por um serviço com qualidade minimamente adequada também é crescente.

A formação adequada da mão-de-obra (envolvendo os médicos especialistas, enfermeiros e técnicos), o desenvolvimento continuado de novas tecnologias e os avanços das diversas áreas da medicina nem sempre são suficientes, apesar de contribuírem decisivamente para que o serviço seja prestado da forma mais adequada.

Isso se dá porque muitas vezes a demanda pelo atendimento é muito maior que a capacidade instalada. Também porque determinadas especialidades, por exemplo, são ofertadas apenas nos grandes centros urbanos e significativa parcela da população não consegue atendimento nas proximidades de sua cidade ou residência. No Brasil, conforme relatado ao longo deste estudo, há ainda a precarização do atendimento público de saúde, forçando muitas vezes a população a recorrer ao serviço privado.

Além desses, diversos outros fatores impactam duramente a prestação de um serviço universal e adequado para toda a população, carecendo, portanto, do auxílio constante de técnicas, ferramentas e métodos que possam auxiliar os profissionais da área a otimizar seus recursos humanos e materiais.

Foi com a expectativa de contribuir de forma concreta para a minimização de problemas críticos e recorrentes verificados nos sistemas de saúde que esta pesquisa foi desenvolvida. A revisão bibliográfica realizada inicialmente permitiu confirmar a percepção empírica de que existem muitas deficiências a serem superadas na busca constante por um serviço de saúde amplo, eficaz, eficiente e realmente universal.

As áreas estudadas nesta tese demonstram que o problema é amplo e que envolve inúmeros elementos, tais como: as políticas de estado, as unidades de atendimento públicas e privadas, os serviços de emergência (envolvendo além do SAMU, polícias, bombeiros, entre outros), os recursos físicos relativos aos equipamentos, medicamentos e materiais de consumo, a capacitação e valorização da mão-de-obra muito além da remuneração, passando também pelo cumprimento da legislação trabalhista e ainda pelo fornecimento dos recursos mínimos necessários para uma prestação de serviço adequada.

A escolha, portanto, de técnicas, métodos ou ferramentas para auxiliar na proposição de melhorias no gerenciamento das atividades em um ambiente e setor tão complexo não é tarefa fácil. A PO vem oferecendo ao longo das últimas décadas um conjunto de recursos que podem auxiliar nessa difícil missão de melhorar o gerenciamento e tornar os sistemas de saúde mais efetivos.

As técnicas selecionadas neste estudo, de SED, SBA e DS, bem como as técnicas de localização de facilidades e teoria das filas, não têm, como já justificado, a pretensão de esgotar todas as necessidades de uma área tão complexa. Seu uso, entretanto, descrito em uma série de casos de sucesso publicados na literatura, contribui para ganhos de desempenho.

Como os problemas são normalmente complexos, o uso dessas técnicas de PO também não é elementar. A proposição desta pesquisa visa, principalmente, trazer, por meio de uma linguagem simples, como a PO pode auxiliar os profissionais do setor a buscarem melhorias como, por exemplo, na redução de filas, otimização de leitos, redução de custos com medicamentos, roteirizando de forma adequada as ambulâncias para permitir um resgate mais ágil, entre outros aspectos.

A proposição visa também a integrar gestores, técnicos e profissionais da área de saúde com os analistas de PO. A junção desses profissionais permite unir a experiência da prática profissional da saúde (com todas as suas particularidades) e a expertise de analistas que dominam conceitos matemáticos, linguagens computacionais e *softwares* capazes de gerar soluções para problemas complexos.

Essa integração, por mais óbvia que pareça, nem sempre é conseguida na prática. Não são raras as publicações que explicitam esse problema na academia. E, muitas vezes, valores investidos em estudos são perdidos, pelo fato de profissionais de saúde não terem sido envolvidos de forma adequada ao longo do estudo ou por não lidarem bem com algum assunto novo (muitas vezes envolvendo abordagens incomuns do seu dia-a-dia).

O uso de mecanismos que auxiliem na integração de áreas e profissionais distintos deve ser estimulado, em prol da busca de avanços que acarretarão na melhor utilização de recursos materiais, humanos, financeiros e que, por consequência, serão refletidos em serviços de melhor qualidade para a população.

A implementação das técnicas sugeridas no problema de localização de bases e alocação de ambulâncias do SAMU de Belo Horizonte exemplifica bem essa proposta (apresentado no Apêndice). O conhecimento prévio do problema, dos elementos de entrada (*inputs*), dos elementos de saída (*outputs*) e das técnicas a serem utilizadas permite que os

analistas de PO se aproximem dos profissionais da área da saúde na busca pela construção de uma solução adequada.

Por sua vez, os profissionais da área de saúde, tendo conhecimento prévio de quais elementos são necessários para a execução do estudo, poderão contribuir ativamente para a construção da solução. Além do fornecimento de dados de entrada, estes poderão participar ativamente das etapas de modelagem, validação conceitual e verificação dos modelos implementados, auxiliando, dessa forma, no refinamento do estudo. Durante os diversos testes de cenários realizados, esses profissionais também são decisivos, pois ajudam o analista de PO a selecionar os cenários mais factíveis e realistas (tomando por base as restrições e características inerentes ao mundo real).

Dessa forma, acredita-se que a metodologia proposta neste estudo contribui para implementações futuras. Além de apresentar um passo-a-passo com o detalhamento das etapas, permite o uso de técnicas robustas de PO e ainda envolve quem operacionaliza o problema no dia-a-dia (técnicos das diversas áreas da saúde). Quando esses objetivos são alcançados, provavelmente as resistências e barreiras criadas (inerentes aos processos de mudança) serão minimizadas.

Sabe-se, contudo, que por mais robusta que seja a técnica utilizada ou por maior que seja a experiência do analista e equipe envolvida no projeto, uma solução pode não contemplar a complexidade de determinadas áreas estudadas.

Diversos trabalhos aqui apresentados confirmam que na saúde o nível de gestão ainda é incipiente e o uso de técnicas para a resolução de problemas é muito defasado quando comparado com outros segmentos (industrial e militar, por exemplo).

Ao longo dos capítulos foi possível reafirmar a relevância do problema de pesquisa explorado neste trabalho, que buscou abranger o baixo desempenho do serviço prestado nos sistemas de saúde, acarretando problemas (tais como: filas de espera, falta de recursos humanos e materiais, custos elevados) verificados em hospitais, unidades de pronto-atendimento, SAMU, entre outros.

Além disso, a realização deste estudo traz uma contribuição importante para auxiliar na mitigação do problema de pesquisa abordado, atendendo ao objetivo geral, que foi oferecer aos gestores, analistas e técnicos que atuam na área de saúde um método estruturado de gestão para melhorar o desempenho de áreas-chave em sistemas médicos, via utilização de técnicas de PO.

Quanto aos objetivos específicos, alguns deles foram atendidos a partir da revisão bibliográfica realizada. A partir da leitura e análise das publicações científicas foi possível

identificar as áreas relevantes em sistemas de saúde com campo para melhoria de desempenho e sinalizar, entre um número bastante diversificado, um conjunto de técnicas de PO para auxiliar na resolução de alguns dos problemas inerentes aos sistemas de saúde.

O estudo desenvolvido também foi fundamental para se alcançar o objetivo de identificar dados de entrada (*inputs*) e os indicadores (*outputs*) para cada um dos problemas estudados, com a participação efetiva e integrada de profissionais de saúde com os analistas de PO, sendo esta uma das contribuições mais significativas deste trabalho.

Como contribuição marginal, este estudo também procurou indicar os recursos metodológicos (técnicas de PO, por exemplo) adequados para realizarem essa tarefa, bem como indicar alguns *softwares* para resolução de problemas em sistemas de saúde.

Outras contribuições podem ainda ser listadas, tal como a desmistificação de que técnicas que envolvam conceitos e princípios computacionais e matemáticos não possam ser utilizadas, mesmo que de forma tangencial, por profissionais com formações de outras áreas. Os profissionais de saúde, por exemplo, se inseridos no processo de forma adequada e planejada, podem contribuir de forma significativa na validação do modelo conceitual e na análise dos experimentos e discussão dos resultados.

O estudo mostra que o uso da simulação em conjunto com outras técnicas, como otimização, se mostra muito efetiva para a resolução de determinados problemas. Ocorre que há casos em que o uso conjunto de técnicas não é suficientemente capaz de resolver determinadas complexidades.

A otimização via simulação, por exemplo, preenche uma parte dessa lacuna, pois se sabe que a simulação sozinha não é capaz de indicar a melhor configuração dentro de um conjunto de opções. Outro fator interessante é que essa técnica está se popularizando justamente porque os *otimizadores* que fazem parte dos *softwares* de simulação (como Optquest, SimRuner e outros) são excessivamente genéricos e, por isso, às vezes, não adequados à resolução dos problemas com a rapidez requerida, forçando os analistas a desenvolverem heurísticas personalizadas para cada problema, o que impulsiona o uso da Otimização via Simulação.

Outra possibilidade de desenvolvimento futuro consistirá na possibilidade da metodologia proposta, servir de base para construção de Sistemas Especialistas e/ou de Sistemas de Suporte à Decisão com aplicações de técnicas de PO nas diversas áreas da Saúde. Os métodos desenvolvidos permitem que informações importantes, relativas ao dia a dia dos

sistemas de saúde, possam ser identificadas e a posteriori utilizadas como parâmetros de entrada, o que seria bastante útil para os desenvolvedores de sistemas.

Outro ponto interessante a ser destacado é a importância em fomentar a formação de parcerias entre as instituições. Neste estudo, por exemplo, a parceria entre o SAMU de Belo Horizonte e a Universidade Federal de Minas Gerais, via Departamento de Engenharia de Produção, não exigiu desembolso financeiro. Os recursos empregados no estudo (materiais e humanos) foram oriundos da infraestrutura já existente na UFMG e no SAMU. As informações e dados fornecidos pelo SAMU não exigiram da instituição algum aporte financeiro.

Neste caso, vale ainda ressaltar a importância do envolvimento e comprometimento dos gestores e de diversos outros profissionais envolvidos no SAMU de Belo Horizonte no pronto-atendimento e auxílio na execução deste trabalho. Esse tipo de parceria é imprescindível, tanto para o estudo de soluções que atendam ao mercado, quanto de soluções que sejam academicamente adequadas.

Espera-se que este estudo seja uma contribuição inicial para o processo de melhoria, tão demandado atualmente, do sistema de saúde brasileiro. Que as propostas lançadas aqui possam ser implementadas nas outras áreas da saúde citadas ao longo do documento, contribuindo para a melhoria da performance de hospitais e de unidades de saúde na redução das filas de transplante, na melhor utilização dos recursos financeiros aplicados (que normalmente já são tão escassos), entre uma série de outras aplicações que foram citadas e de outras que poderão ser investigadas futuramente.

Por fim, espera-se que esta tese possa ser um início de caminho a ser trilhado, buscando auxiliar em uma questão fundamental levantada na introdução deste estudo, que é minimizar a preocupação da população em ter atendimento de saúde adequado nos momentos mais complicados e de mais vulnerabilidade.

## APÊNDICE

Neste capítulo será apresentado a implementação de um dos problemas contemplados neste estudo ó que trata do problema de localização e alocação de bases e ambulâncias do SME de Belo Horizonte.

Com a apresentação deste estudo, também será possível demonstrar a aplicação da metodologia desenvolvida nesta pesquisa, onde as etapas apresentadas no capítulo 6, serão detalhadas em seguida para um problema aplicado.

### **Etapa 1 ó Identificação do Problema**

Para a etapa de identificação do problema, a demanda surgiu quando se percebeu que havia bases de operação mal localizadas, ambulâncias alocadas inapropriadamente e o tempo de resposta do sistema acima da meta ideal.

### **Etapa 2 ó Objetivos**

Como objetivos deste estudo, espera-se localizar de forma adequada as bases de operação, alocar de forma efetiva as ambulâncias e obter um tempo de resposta de resgate adequado.

### **Etapa 3 ó Técnicas de solução sugeridas**

As técnicas de localização de facilidade e de SED foram escolhidas por sua ampla utilização e ótimos resultados verificados nesse tipo de problema e âmbito de aplicação.

O texto descrito no artigo apresentado neste capítulo (tópicos 1 e 2 ó *Introduction* e *The Operational Research applied to ambulance systems*, respectivamente), ajudam a contextualizar o problema debatido (passo 1), os objetivos a serem alcançados (passo 2) e a escolha das técnicas de solução (passo 3).

### **Etapa 4 ó Inputs**

Todo o processo de coleta, análise e refinamento dos *inputs* necessários descrito no passo 4 da metodologia (*inputs*) está detalhada no tópico 3 do artigo (intitulado *Methodology*), podendo-se destacar o quantitativo e localização geográfica dos pontos de demanda, o quantitativo e localização geográfica das bases de operação candidatas, o quantitativo e localização geográfica das unidades de saúde, o quantitativo por tipo de ambulância (entre básicas e avançadas), tempo médio de deslocamento por trajeto (entre cada ponto de

demanda, base de operação e unidade de saúde), o custo de ativação por base, o custo por cada ambulância, o custo de transporte, a disponibilidade dos equipamentos e o *scheduling* de alocação de ambulâncias.

#### **Etapa 5 e Etapa 6 ó Identificação das variáveis de desempenho e análise dos *outputs***

Por fim, nos capítulos 4 e 5 do artigo (respectivamente, tópicos *Scenario Analyses and Computer Results* e *Conclusions*) são identificadas as variáveis de desempenho e apresentada a análise de *outputs*. Destaca-se a localização das bases de operação, o número de ambulâncias por base e o tempo de resposta do sistema.

Em seguida, o artigo *Reducing emergency medical service response time via the reallocation of ambulance bases* é aceito para publicação no *Journal Health Care Management Science* (DOI 10.1007/s10729-014-9280-4), será apresentado na íntegra.

*Reducing Emergency Medical Service response time via the reallocation of ambulance bases*

*L. C. Nogueira Junior*

*Federal University of Minas Gerais,*

*Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte - MG, Brazil*

*e-mail: luiznogueira@ufmg.br*

*L. R. Pinto*

*Federal University of Minas Gerais,*

*Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte - MG, Brazil*

*e-mail: luiz@dep.ufmg.br*

*P. M. S. Silva*

*Federal University of Minas Gerais,*

*Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte - MG, Brazil*

*e-mail: pedromarinho84@ibest.com.br*

***Reducing Emergency Medical Service response time via the reallocation of ambulance bases***

***Abstract***

*The demand for highly efficient and effective services and consumer goods is an essential prerequisite for modern organizations. In healthcare, efficiency and effectiveness mean reducing disabilities and maintaining human life. One challenge is guaranteeing rapid Emergency Medical Service (EMS) response. This study analyzes the EMS of Belo Horizonte, Brazil, using two modeling techniques: optimization and simulation. The optimization model locates ambulance bases and allocates ambulances to those bases. A simulation of this proposed configuration is run to analyze the dynamic behavior of the system. The main assumption is that optimizing the ambulance base locations can improve the system response time. Feasible solutions were found and the current system may be improved while considering economic and operational changes.*

*Keywords: Facility Location, Discrete Event Simulation, Optimization, Mathematical Modeling*

*MSC codes: 90B90*

## **1. Introduction**

*The healthcare industry has significantly developed both technologically and scientifically over the last century [1]. Diseases that killed millions of people in the XIX century may now be gone. However, population longevity, urban violence, the number of sedentary people, and the occurrence of aging diseases have all increased [2] [3]. Therefore, the demand for EMS in large cities is increasing at the same rate [3]. Thus, healthcare policies should be updated to keep up with these changes. In developing countries, the impact of such changes seems stronger, and new policies should be implemented as soon as possible.*

*PAHO (Pan American Health Organization [4]) noted that contagious infectious diseases represent 10% of deaths in Brazil, while ãmodern diseasesö such as heart diseases continually increase. Over the last 50 years, Brazil has changed mortality patterns from young people to the more complex and expensive diseases of old age [3].*

*The Brazil Health Ministry [5] created the SAMU, a Portuguese Acronym for Emergency Medical Service, in 2003. Physicians, nurses and assistants compose service teams that rescue victims.*

*The main function of this system is to treat patients from the moment of first call until their delivery to a hospital using a minimum of resources [6] [7] [8].*

*This study covers the EMS of Belo Horizonte. It suggests the average response time (21 minutes in 2010 [6]) can be partially explained by inefficient base locations. Currently, the system has 22 bases and 27 ambulances.*

*An optimization model for minimizing the response time (RT) was proposed and some experiments were performed to determine better ambulance base locations. The new base locations were input in to a discrete event simulation (DES) model to observe the dynamic behavior of the system and more accurately estimate the response time.*

## **2.The Operational Research applied to ambulance systems**

### *2.1 Location problems*

Generally, facility location problems propose the best facility locations that match a geographically distributed demand (customers) subject to some constraints. Owen and Daskin [9] divided the location models into the three categories shown in Table 1.

Sahin and Sural [10] hierarchically reviewed the most common location systems, such as healthcare systems, solid waste management systems, production-distribution systems, education systems, telecommunications networks and EMS systems. Many others studies have focused on facility location problems for healthcare (Cooper [11]; Drezner [12]; Borrás and Pastor [13]; Snyder [14]).

**Table 1 ó Main facility location problems**

<i>Deterministic location problems</i>	<i>Dynamic location problems</i>	<i>Stochastic location problems</i>
<i>p-median problems</i>	<i>Dynamic single facility location models</i>	<i>Probabilistic models</i>
<i>Covering problems</i>	<i>Dynamic multiple facility location models</i>	<i>Scenario planning models</i>
<i>Center problems</i>	<i>Alternative dynamic approaches</i>	

### *2.2 Location problems applied to healthcare systems*

Drezner [12] presented two strategic questions for healthcare systems in large cities concerning using minimal resources to attend to people's needs and the EMS size required for a suitable response time.

The Goldberg [15] state healthcare has been an important subject for operational research (OR) studies since 1960. This subject involves relevant decisions regarding, for

*example, base locations, dynamic ambulance positioning, vehicle dispatching, fleet sizing, and resource management.*

*Brotcorne et al. [16] performed a detailed three-decade review on ambulance location models. This study summarizes probabilistic and deterministic models and their primary applications.*

*Many other studies relate to ambulance models. Berlin and Liebman [17] modeled EMS using two models. They used an optimization model to solve the facility location problem and a simulation model to solve the vehicle allocation problem. Mandell [18] used a queue model to study the covering problem. Rajagopalan et al. [19] developed a model to optimize the number of ambulances for a seasonal demand. This model determined the optimum number and location for ambulances during each time range. Tavakoli and Lightner [20] proposed a model to locate facilities and allocate ambulances in Fayetteville, NC in the USA. The objective was to increase the number of calls answered within 8 min.*

*Jardim et al. [21] developed a simplified optimization model to propose new ambulance base locations in Belo Horizonte, Brazil. This model aimed to reduce the system response time by proposing new ambulance base locations.*

*Iannoni et al. [22] and Iannoni and Morabito [23] proposed hypercube queueing models to locate ambulance bases on Brazilian highways. Morabito et al. [24] also proposed queueing models to analyze non-homogeneous servers in the EMS of Campinas, Brazil and along a Brazilian highway. Takeda et al. [7] used a similar methodology to analyze the centralization of EMS in the same city.*

### *2.3. Discrete event simulations applied to healthcare systems*

*Discrete event simulations (DES) are a powerful tool to evaluate and analyze both new projects and existing systems that became more popular after the computer revolution [25, 26].*

*The sequence of events comprising an ambulance system begins after an accident (traffic accidents, natural hazards...) and finishes once the patient is delivered to a hospital [27]. Therefore, these systems are complex and dynamic. EMSs involve many processes and random events that make solving problems using analytical models difficult. These features make DES an attractive tool for analyzing these systems [28].*

*The response time, i.e., the elapsed time between notification of an occurrence and the ambulance arrival at the scene, is the main EMS performance measurement [29]. The World Health Organization (WHO) recommends an ideal response time of less than 8 minutes [30].*

*The average response time varies from one city to another. Al-Ghamdi [31] determined 10.23 minutes for Riyadh (Saudi Arabia); Wu and Hwang [32] determined 9 minutes for Tainan (Taiwan); Takeda [29] determined 10.94 minutes for Campinas (Brazil) and Silva and Pinto [6] determined 21.21 minutes for Belo Horizonte (Brazil).*

### **3. Methodology**

#### **3.1 Database analysis**

*Belo Horizonte has approximately 2.5 million inhabitants in an area of approximately 334 km<sup>2</sup> [3]. The ambulance system currently has one call center for the entire city, and this study analyzed 70,706 ambulance dispatches from 01/01/2008 to 09/13/2009. Figure 1 shows the distribution of calls in the city. For practical purposes, the city was divided into 71 regions and the calls were spread among these regions.*

The call times were arranged into four periods of the day: i) dawn (12:00AM-06:00 AM), ii) morning (06:00AM- 12:00PM), iii) afternoon (12:00PM- 06:00PM), and iv) evening (06:00PM-12:00AM). Table 2 shows the arrival rates.

*Table 2 ó Distribution of calls (01/01/08 to 09/13/09)*

<b>Distribution of calls</b>		
Morning	20,296	29%
Afternoon	20,090	28%
Evening	19,349	27%
Dawn	9,512	13%
Not registered	1,459	2%
<b>Total</b>	<b>70,706</b>	<b>100%</b>

This division is important because of daily seasonality. Another important factor is the average ambulance speed. The model supposes 55 km/h from midnight to 6:00AM, 32 km/h from 6:00AM to 6:00PM and 42 km/h from 6:00PM to midnight (based on EMS practices in Belo Horizonte).

### 3.2. Ambulance base locations

There are twenty-two ambulance bases in Belo Horizonte. No scientific criteria were used to locate the bases, and they were installed in public buildings or others available places. Table 3 shows data for these ambulance bases and their UTM (Universal Transverse Mercator) coordinates.

*Table 3 6 Ambulance bases*

Base	Basic ambulance	Advanced ambulance	Region	UTM Coordinates	
				X	Y
1	-	1	Pampulha	608,887.03	7,803,872.68
2	-	1	Nordeste	610,288.82	7,798,748.39
3	1	1	Venda Nova	610,267.00	7,808,237.4
4	-	1	Centro Sul	611,687.50	7,795,581.79
5	1	1	Oeste	605,601.01	7,792,252.49
6	1	-	Venda Nova	609,015.67	7,808,665.39
7	1	-	Venda Nova	609,636.86	7,808,116.69
8	1	-	Nordeste	613,241.83	7,802,407.69
9	1	-	Noroeste	607,816.43	7,797,622.15
10	1	-	Centro Sul	610,402.96	7,791,325.68
11	2	-	Leste	614,481.28	7,798,990.56
12	2	-	Centro Sul	610,855.97	7,797,518.67
13	1	-	Leste	611,821.57	7,797,705.74
14	1	-	Barreiro	603,253.19	7,791,095.84
15	1	-	Norte	611,598.04	7,804,814.99
16	1	-	Centro Sul	612,314.1	7,796,592.16
17	1	-	Pampulha	604,483.2	7,802,482.64
18	1	-	Centro Sul	612,471.63	7,796,753.97
19	2	-	Oeste	608,882.58	7,796,808.42
20	1	-	Barreiro	602,739.96	7,788,778.63
21	1	-	Santa Luzia	618,428.72	7,814,553.46
22	1	-	Santa Luzia	611,166.52	7,811,706.68

*There is at least one ambulance base in each administrative region of Belo Horizonte, which has nine administrative regions. Typically, there is only one type of ambulance per base, except for bases 3 and 5. Bases 11, 12, and 19 each have two allocated ambulances.*

### *3.3 Hospital locations*

*Belo Horizonte has fifteen hospitals and basic health care units (identified as UPAs). A UPA is smaller than a hospital and does not have the same facilities. Table 4 shows data for these facilities.*

*Table 4 ó Hospital location*

<b>Hospital / UPA</b>	<b>UTM Coordinates</b>	
	<b>UTM X</b>	<b>UTM Y</b>
1 UPA Barreiro	602,739.86	7,788,778.74
2 UPA Oeste	607,831.80	7,793,930.64
3 UPA Centro-Sul	612,471.63	7,796,754.08
4 UPA Leste	614,441.80	7,797,973.79
5 UPA Norte	612,298.59	7,803,342.19
6 UPA Venda Nova	609,592.35	7,808,252.32
7 UPA Pampulha	604,483.20	7,802,482.64
8 UPA Nordeste	611,977.62	7,799,775.71
9 Hospital das Clínicas	611,767.96	7,796,253.31
10 Hospital João XXIII	611,895.62	7,796,328.76
11 Hospital Odilon Behrens	610,298.66	7,798,654.56
12 Hospital Risoleta Tolentino Neves	610,267.00	7,808,237.29
13 Hospital Julia Kubitschek	605,555.00	7,789,493.26
14 Hospital Alberto Cavalcanti	605,728.20	7,797,968.28
15 Hospital Santa Casa	612,315.29	7,796,597.80

### 3.4. Demand points

The demand points are randomly spread throughout the entire city. To simplify the model, the demand of each region was centralized. Figure 2 shows the demand points for the city. The model uses the UTM coordinates as central points in each area.

### 3.5. Distance between the points of interest

The model used the UTM coordinates of the 71 demand points, 22 ambulance bases, and 15 hospitals to calculate the travel times based on the Euclidean distance between each. The model used a factor to correct these Euclidian distances to approximate the real distance traveled by an ambulance. A factor of 1.366 was used for urban areas as shown in the study of São Paulo, Brazil [33].

### 3.6. Costs

Data from the Brazil National Health System (available at [www.datasus.gov.br](http://www.datasus.gov.br)) for the year 2010 are presented in this study.

*The activation operation cost (CI) is the sum of expenses for installing an ambulance base. The average cost in Belo Horizonte is 162,790.69 US dollars.*

*The average ambulance acquisition cost (CW) is the average cost to purchase an ambulance. We considered the average cost to be 82,938.73 US dollars for both basic and advanced ambulances to simplify the model.*

*The average transportation cost (CT) is the sum of all expenses related to ambulance travel (paramedic team, fuel, tires.), and maintenance. We considered the average CT to be 23.96 US dollars per trip.*

### 3.7 Facility location modeling

#### 3.7.1 Sets:

*I: demand points;*

*J: ambulance bases;*

*H: hospitals;*

*W: ambulance types;*

#### 3.7.2 Parameters:

*TT: total time (in minutes) per period, t, (morning, afternoon, evening, or dawn);*

*TS<sub>ji</sub>: the minimum time (in minutes) between the ambulance base, j, and demand point, i;*

*TH<sub>ih</sub>: the minimum time (in minutes) between demand point, i, and hospital, h;*

*TB<sub>hj</sub>: the minimum time (in minutes) between hospital, h, and ambulance base, j;*

*d<sub>iw</sub>: the need for an ambulance of type, w, at demand point, i;*

*CI: base activation cost;*

*CW: cost for each ambulance;*

*CT: transportation cost;*

$Q_{jw}$ : maximum number of ambulances of type,  $w$ , at base,  $j$ ;

$DF$ : ambulance availability (85%);

$NA_w$ : total number of ambulances of type,  $w$ , in operation;

$TR$ : response time (minutes);

$n$ : number of demand points;

$p$ : number of candidate ambulance bases;

$k$ : maximum number of ambulance bases to be activated;

$u$ : number of hospitals;

### 3.7.3 Variables:

$x_{ijhw}$  = total number of trips an ambulances of type,  $w$ , makes from base,  $j$ , to demand point,  $i$ ,

and hospital,  $h$ ;

$y_j$  = binary variable ( $y_j = 1$  if base,  $j$ , is activate and  $y_j = 0$  otherwise);

$A_{jw}$  = number of ambulances of type,  $w$ , allocated to base,  $j$ ;

### 3.7.4 Model:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^p (CI * y_j) + \sum_{j=1}^p \sum_{w=1}^2 (CW * A_{jw}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{h=1}^u \sum_{w=1}^2 (CT * (TS_{ji} + TH_{ih} + TB_{hj})) * x_{ijhw} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^p \sum_{h=1}^u x_{ijhw} \geq d_{iw} \quad \forall i, w \quad (2)$$

$$A_{jw} \leq Q_{jw} * y_j \quad \forall j, w \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^u x_{ijhw} * (TS_{ji} + TH_{ih} + TB_{hj}) \leq (TT_t * DF * A_{jw}) \quad \forall j, w \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^p y_j \leq k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^u x_{ijhw} \leq \sum_{i=1}^n d_{iw} * y_j \quad \forall j, w \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^p A_{jw} = NA_w \quad \forall w \quad (7)$$

$$x_{ijhw} \in Z^+ \quad \forall i, j, h, w \quad (8)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (9)$$

$$A_{jw} \in Z^+ \quad \forall j, w \quad (10)$$

The objective function (1) minimizes the total costs. The constraint (2) states that every point of demand must be served. Constraint (3) states the maximum number of ambulances per base. Constraint (4) requires that the total travel time to be less than or equal to the availability. Constraint (5) restricts the number of installed bases. Constraint (6) states that only active bases can be chosen to serve a demand,  $i$ . Constraint (7) establishes the total number of ambulances installed in the system. Constraints (8) through (10) define the decision variable types. This optimization model was implemented using AMPL/CPLEX.

### 3.8 Discrete Event Simulation modeling

The discrete event simulation (DES) model used in this study was adapted from Silva and Pinto [6], and the computer model was implemented in Arena 11.0. The simulation model was used to compare the response time generated in the optimization model to that of the simulation.

The main changes in the original model inputs are intended to i) increase the number of ambulances in the system, ii) create new ambulance bases, iii) reallocate ambulance bases, and iv) create new hospitals. Figure 3 provides a basic description of the simulation model.

The rescue process begins with an incoming emergency call at central, which is answered by one of the attendants. Before initializing the required procedures, the model first determines the call characteristics: its geographic origin, type (clinical, trauma or

*psychological), medical conduct (dispatch an ambulance or provide direction by phone) and the UTM coordinates as described in section 3.*

*The attendant proceeds with the initial call analysis and trying to identify its nature (solicit information and identify hoax calls, wrong calls or medical assistance solicitation). Finally, if the call is an emergency, the initial information, such as incident location and victim data, is collected. The physician in charge of the regulation then analyzes its severity and decides whether to dispatch an ambulance.*

*This model considers two basic pieces of information to determine whether an ambulance should be dispatched: the UTM coordinates from which the ambulance will be released (ready for serving a new demand) and the traveling time to the incident. Considering both factors guarantees the model dispatches the ambulance that will arrive on scene soonest and not just the closest ambulance. At the scene, the medical team delivers initial treatments, and in more severe cases, the patient is delivered to the nearest hospital.*

*After delivering the patient, the medical team must determine the need for material replacement and/or maintenance. In this case, the ambulance is available to serve a new call after such activities are complete. If the ambulance is already required for a new service, the medical team proceeds directly to the incident. Otherwise, the ambulance returns to its base.*

#### **4. Scenario Analyses and Computer Results**

*Assuming optimizing the ambulance base positions may reduce the response time, we proposed six scenarios for the optimization model. Furthermore, we used the best results as the simulation model inputs to determine the dynamic system behavior.*

*Scenarios 1, 2 and 3 represent systems with three different ambulance base positions. For these scenarios, the number of ambulances in the system was the number operating in 2010 (20 basic and 5 advanced ambulances) with the same number of bases (22 bases). The*

*purpose of these scenarios was to determine the relationship between the location and response time for each system.*

*Scenario 1 ó The model uses the exact configuration of the 2010 system (base locations and ambulance numbers). Scenario 2 ó The model arbitrarily chosen the configuration of the 22 bases. Scenario 3 óThe model uses a configuration for the 22 bases chosen according to the proportional demand (locations with higher demand have more installed bases).*

*Scenario 4 uses the current system configuration, i.e., 22 ambulance bases and 27 ambulances (22 basic and 5 advanced). This scenario was also used to calculate the shortest response time.*

*Scenarios 5 and 6 represent different characteristics. We insert more candidate bases throughout the city. For both scenarios, we used 71 candidate bases. The difference between scenario 5 and 6 is that scenario 5 may activate up to 22 bases, while scenario 6 activates exactly 22 bases.*

*Each scenario used several time schedules (morning, afternoon, evening and dawn) with a distinct vehicle speed, ambulance number at each base (2, 3 and 5 ambulances) and required response time (from 21 minutes, the current system time, to 8 minutes, which is the response time suggested by the World Health Organization).*

*We analyzed more scenarios but do not show them because they were infeasible or yielded worse solutions than previously obtained. Table 5 summarizes the six scenarios used in this experiment.*

*The analytical results for scenarios 1, 2, 3, and 4 indicate maintaining the current operating base locations is not the best strategy. Therefore, the hypothesis that the operating base locations may reduce the response time will be tested using scenarios 5 and 6.*

Based on this hypothesis, the new ambulance base locations were proposed in scenarios 5 and 6 to reduce the service response time, especially during the morning and afternoon. Table 5 shows that the response times improve relative to those for scenarios 1, 2, 3, and 4.

Table 5 ó Feasible (1) and infeasible (0) scenarios

		06:00AM - 12:00PM						12:00PM - 06:00PM						06:00PM - 12:00AM						12:00AM - 06:00AM												
Scenário/ Response time (min)		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
up to 2 ambulances per base	21	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	20	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	19	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	17	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	15	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
up to 3 ambulances per base	21	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	20	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	19	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	17	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	15	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
up to 5 ambulances per base	21	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	20	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	19	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	17	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	15	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

To analyze the configurations generated for the proposed scenarios in detail, Tables 6 through 9 summarize the results for a specific period. Scenarios 2 and 3 were excluded because they yielded no response below 21 minutes. Notably, no seasonal weather changes significant altered the EMS operations, i.e., the system behaves the same throughout the year.

**Table 6 ó Scenarios 12:00AM ó 06:00AM**

Scenario	Max Ambulance per base (Q)	Period	Better response time (TR)	Installed Bases (j)	Total Ambulance (Basic)	Total Ambulance (Advanced)
1	2	12:00AM-06:00AM	13'	10	20	5
4	2	12:00AM-06:00AM	13'	11	22	5
5	2	12:00AM-06:00AM	11'	11	22	5
6	2	12:00AM-06:00AM	8'	22	22	5
1	3	12:00AM-06:00AM	13'	7	20	5
4	3	12:00AM-06:00AM	13'	8	22	5
5	3	12:00AM-06:00AM	11'	8	22	5
6	3	12:00AM-06:00AM	8'	22	22	5
1	5	12:00AM-06:00AM	13'	4	20	5
4	5	12:00AM-06:00AM	13'	5	22	5
5	5	12:00AM-06:00AM	11'	5	22	5
6	5	12:00AM-06:00AM	8'	22	22	5

Table 6 shows that, during dawn (12:00AM to 06:00AM), scenario 6 yielded feasible solutions with a response time of 8 minutes regardless of the maximum number of ambulance bases. Note that this scenario used 22 ambulance bases and 27 ambulances.

**Table 7 - Scenarios 06:00AM ó 12:00PM**

Scenario	Max Ambulance per base (Q)	Period	Better response time (TR)	Installed Bases (j)	Total Ambulance (Basic)	Total Ambulance (Advanced)
1	2	06:00AM-12:00PM	21'	10	20	5
4	2	06:00AM-12:00PM	21'	11	22	5
5	2	06:00AM-12:00PM	15'	11	22	5
6	2	06:00AM-12:00PM	15'	22	22	5
1	3	06:00AM-12:00PM	21'	7	20	5
4	3	06:00AM-12:00PM	21'	8	22	5
5	3	06:00AM-12:00PM	15'	8	22	5
6	3	06:00AM-12:00PM	15'	22	22	5
1	5	06:00AM-12:00PM	21'	4	20	5
4	5	06:00AM-12:00PM	21'	5	22	5
5	5	06:00AM-12:00PM	15'	5	22	5
6	5	06:00AM-12:00PM	15'	22	22	5

*Table 8 - Scenarios 12:00PM ó 06:00PM*

Scenario	Max Ambulance per base (Q)	Period	Better response time (TR)	Installed Bases (j)	Total Ambulance (Basic)	Total Ambulance (Advanced)
1	2	12:00PM-06:00PM	21'	10	20	5
4	2	12:00PM-06:00PM	21'	11	22	5
5	2	12:00PM-06:00PM	15'	11	22	5
6	2	12:00PM-06:00PM	15'	22	22	5
1	3	12:00PM-06:00PM	21'	7	20	5
4	3	12:00PM-06:00PM	21'	8	22	5
5	3	12:00PM-06:00PM	15'	8	22	5
6	3	12:00PM-06:00PM	15'	22	22	5
1	5	12:00PM-06:00PM	21'	4	20	5
4	5	12:00PM-06:00PM	21'	5	22	5
5	5	12:00PM-06:00PM	15'	5	22	5
6	5	12:00PM-06:00PM	15'	22	22	5

Tables 7 and 8 show the morning (06:00AM to 12:00PM) and afternoon (12:00PM to 06:00PM) periods, respectively. The response times obtained for scenarios 5 and 6 (15 minutes) represent a considerable reduction relative to scenarios 1 and 4 (21 minutes).

*Table 9 - Scenarios 06:00PM ó 12:00AM*

Scenario	Max Ambulance per base (Q)	Period	Better response time (TR)	Installed Bases (j)	Total Ambulance (Basic)	Total Ambulance (Advanced)
1	2	06:00PM-12:00AM	17'	10	20	5
4	2	06:00PM-12:00AM	17'	11	22	5
5	2	06:00PM-12:00AM	13'	11	22	5
6	2	06:00PM-12:00AM	13'	22	22	5
1	3	06:00PM-12:00AM	17'	7	20	5
4	3	06:00PM-12:00AM	17'	8	22	5
5	3	06:00PM-12:00AM	13'	8	22	5
6	3	06:00PM-12:00AM	13'	22	22	5
1	5	06:00PM-12:00AM	17'	4	20	5
4	5	06:00PM-12:00AM	17'	5	22	5
5	5	06:00PM-12:00AM	13'	5	22	5
6	5	06:00PM-12:00AM	13'	22	22	5

Table 9 shows the last period (06:00PM to 12:00AM). Scenarios 5 and 6 both achieved a response time of 13 minutes using 27 ambulances.

These optimization results indicate scenarios 5 and 6 significantly reduce the response time. Even though scenario 5 has a smaller number of installed ambulance bases, it exhibits a similar response time to scenario 6.

Because scenarios 5 and 6 use new ambulance bases and significantly reduce the response time, we decided to implement the optimizer-generated configurations in the DES model.

*This model analyzes current and future scenarios to plan strategic actions and manage the system. For instance, the model can analyze the effect installing a new hospital in the city has on the response time. It seems intuitive that the hospital and basic care unit locations affect the response time. To analyze this influence, two new hospitals were included at distinct points within the city. Table 10 shows the results of this analysis. Despite the increased number of hospitals, the response time remained above 15 minutes during peak hours due to the slow ambulances speed and low ambulance number. Furthermore, the elapsed time between the call arrival and ambulance dispatch was too high, approximately 5 minutes, for the Belo Horizonte EMS. The intricate city design leads to heavy traffic during peak hours and drastically reduces the average ambulance speeds, which is crucial for the response time.*

*Table 10 Solution for an increased number of hospitals (Scenarios 7 and 8)*

Scenario	Max Ambulance per base (Q)	Installed Bases (j)	Total Ambulance (Basic)	Total Ambulance (Advanced)	Response time obtained by optimization (min)	Response time obtained by simulation (min) CI 95%
7	2	22	22	5	15	17.33 +- 0.8
	3	22	22	5	15	19.01 +- 0.8
	5	22	22	5	15	19.76 +- 0.8
8	2	22	22	5	15	16.71 +- 0.8
	3	22	22	5	15	16.88 +- 0.8
	5	22	22	5	15	16.71 +- 0.8

*Therefore, the next step is to check whether the results using the optimization model responses converge on the simulation model. The ambulance base locations and ambulance allocation was set using the optimization model. The simulation model analyzed the dynamic behavior of the system to evaluate the configuration proposed by the optimization model. The simulation only used the optimization model solutions generated for the morning period because this period had an increased demand with greater system utilization.*

*Table 11ó Best solutions (Scenarios 5 and 6)*

Scenario	Max Ambulance per base (Q)	Installed Bases (j)	Total Ambulance (Basic)	Total Ambulance (Advanced)	Response time obtained by optimization (min)	Response time obtained by simulation (min) CI 95%
5	2	11	22	5	15	17.45 +- 0.8
	3	7	22	5	15	19.08 +- 0.8
	5	5	22	5	15	19.96 +- 0.8
6	2	22	22	5	15	16.75 +- 0.8
	3	22	22	5	15	16.92 +- 0.8
	5	22	22	5	15	16.92 +- 0.8

*Table 11 shows the maximum number of ambulances per base, the number of activated bases, the number of basic and advanced units, and the average response times using the optimization and simulation models.*

*The gaps between the response times for the optimization and simulation models were supposedly due to the random nature of the process and the time spent by operators and/or technicians at the call center, i.e., the time required to dispatch the ambulance. The optimization model assumes these tasks require 2 minutes, while the simulation model had an average process time of approximately 5 minutes.*

*Furthermore, the optimization model uses distinct average ambulance speeds and demand points (71 points) for morning, daytime, nighttime, and dawn. The simulation model assumes the average ambulance speed was 25 km/h between 8:00AM and 8:00PM and 50 km/h between 8:00PM and 8:00AM, with only nine demand points.*

*Scenario 5 yielded a 15 minute response time using only 5 activated bases. This fact might be relevant from an economic viewpoint. Another interesting fact is the inverse relationship between the number of bases and response time for the simulation model. We did not observe this phenomenon in the optimization model.*

*Obviously, this study is only preliminary and we should assess the configurations for scenarios 5 and 6 in terms of their operational capabilities and economics before changing the real system.*

## **5. Conclusions**

*After studying the scenarios and analyzing the most feasible solutions, we concluded the ambulance number and base locations affect the EMS performance. However, buying ambulances and activating new bases does not necessarily improve the system performance.*

*A balanced number of ambulances allocated across certain bases at certain times improved the system performance without increasing the total number of ambulances, i.e., just changing the ambulance allocation obtained WHO targets.*

*The elapsed time between the call arrival and ambulance dispatch was too large (approximately 4.5-5.4 minutes) in Belo Horizonte. Reducing this time should reduce the response time.*

*Another important issue is the base distribution. Currently, the system operates with essentially one basic unit at each base. This study shows that the number of ambulances at each base can be increased to decrease the number of activated bases. This action may decrease the costs without reducing performance. To accomplish this feat, managers should prepare strategic bases for operation and enlarge the parking areas.*

*This study also showed the importance of daily seasonality on the service quality. Future studies may further reduce the analytical time range by considering, for example, the hourly demand variations. Furthermore, monthly demand variations can be included. Such a study would create a more specific and appropriate service solution.*

*Others possible alternatives include using intermittently operating bases where a smaller number of ambulance bases operate during evening and dawn when the service demand is significantly decreased. Such a system should lower operating and maintenance costs.*

Finally, this study shows how to join two operational research techniques, optimization and simulation, to analyze the dynamic EMS behavior instead of using empirical rules and procedures.

### **Conflict of interest statement**

The authors declare they have no conflicts of interest.

### **References**

1. Filho EM, Torres NT, Magalhães MS, De Oliveira MJF (2007) *Simulação a eventos discretos aplicada ao setor de triagem do hospital Antônio Pedro*. In: *Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 1001-1013 (in Portuguese)*
2. Destri Junior J (2005) *Sistema de apoio à decisão espacial no serviço de atendimento móvel de urgência em vias de trânsito*. Doctoral thesis, Universidade Federal de Santa Catarina (in Portuguese)
3. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (IBGE) (2009) *Indicadores sócio demográficos e de saúde no Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro, Brazil (in Portuguese)
4. Pan American Health Organization (PAHO) (2009) *Información y análisis de salud: situación de salud en las Américas: Indicadores Básicos*, Washington, DC (in Spanish)
5. Brasil, Ministério da Saúde do Brasil. *Política Nacional de Atenção às Urgências* <http://portalsaude.saude.gov.br/portalsaude/index.html>. Accessed 10 march 2013 (in Portuguese)

6. Silva PMS, Pinto LR (2010) *Emergency Medical Systems Analysis by Simulation and Optimization. In: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, pp. 2422-2432*
7. Takeda RA, Widmer JA, Morabito R (2001) *Uma proposta alternativa para avaliação do desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde brasileiros. Transportes 9:9-27(in Portuguese)*
8. Nafarrate, A.; Fowler, J. W.; Wu, T. (2011) *Design of centralized ambulance diversion policies using simulation-optimization. Proceeding of the 2011 Winter Simulation Conference, pp. 1251-1262*
9. Owen SH, Daskin MS (1998) *Strategic facility location: a review. Eur J Oper Res 111:423-447*
10. Sahin G, Sural H (2007) *A review of hierarchical facility location models. Comput Oper Res 34:2310-2331*
11. Cooper L (1963) *Location-allocation problems. Oper Res 11:331-343*
12. Drezner Z (1995) *Facility location: a survey of applications and methods. 1st ed. Springer, New York*
13. Borrás F, Pastor JT (2004) *Modelos probabilísticos de localización por cubrimiento: una panorámica. Centro de Investigación Operativa, Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche, Spain (in Spanish)*
14. Snyder LV (2006) *Facility location under uncertainty: a review. IIE Trans 38:537-554*
15. Goldberg JB (2004) *Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. EMS Manage J 1:20-39*
16. Brotcorne L, Laporte G, Semet F (2003) *Ambulance location and relocation models. Eur J Oper Res 147:451-463*

17. Berlin GN, Liebman JC (1974) *Mathematical analysis of emergency ambulance location. Socio-Economic Planning Sciences*, 8:323-328
18. Mandell MB (1998) *Covering models for two-tiered emergency medical services systems. Location Sci* 6:355-368
19. Rajagopalan HK, Saydam C, Xiao JA (2008) *Multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. Comput Oper Res* 35:814-826
20. Tavakoli A, Lightner C (2004) *Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in Fayetteville, NC. Comput Oper Res* 31:1549-1563
21. Jardim RX, Conceição SV, Carvalho CRV (2004) *Localização estratégica para o serviço de atendimento móvel de urgência na região metropolitana de Belo Horizonte. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, SC, Brazil, 3-5 November 2004, pp. 2958-2965 (in Portuguese)*
22. Iannoni AP, Morabito R, Saydam C (2009) *An optimization approach for ambulance location and the districting of the response segments on highways. Eur J Oper Res* 195:528-542
23. Iannoni AP, Morabito R (2007) *A multiple dispatch and partial backup hypercube queuing model to analyze emergency medical systems on highways. Tran Res Part E* 43:755-771
24. Morabito R, Chiyoshi F, Galvão RD (2008) *Non-homogeneous servers in emergency medical systems: practical applications using the hypercube queueing model. Soc-Eco Plan Sci* 42:255-270
25. Robinson S (2005) *Discrete-event simulation: from the pioneers to the present, what next? J Oper Res Soc* 56:619-629
26. Carson JS (2005) *Introduction to modeling and simulation. In: Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp. 16-23*

27. Fitzsimmons JA (1971) *An emergency medical system simulation model. In: Proceedings of the 1971 Winter Simulation Conference, New York, pp. 18-25*

28. Sabbadini FS, Gonçalves AA (2005) *A simulação como ferramenta de apoio a tomada de decisão em serviços de saúde. (REAH) Revista Eletrônica de Administração Hospitalar In. 4 (in Portuguese)*

29. Takeda RA (2000) *Uma contribuição para avaliar o desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde. Doctoral thesis, Universidade Federal de São Paulo (in Portuguese)*

30. Pons PT, Markovchick VJ (2002) *Eigth minutes or less: does the ambulance response time guideline impact trauma patient outcome? J Emerg Med 23:43-48*

31. Al-Ghamdi AS (2002) *Emergency medical service rescue times in Riyadh. AccidAnalPrev 34:499-505*

32. Wu CH, Hwang KP (2009) *Using a discrete-event simulation to balance ambulance availability and demand in static deployment systems. Acad Emerg Med 16:1359-1366*

33. Novaes AG (1989) *Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos. Editora Edgard Blucher, São Paulo, Brazil (in Portuguese)*

### **Figure Legends**

**Fig. 1** EMS demand in Belo Horizonte city

**Fig. 2** Demand point locations in Belo Horizonte city

**Fig. 3** Flowchart for answering emergency calls

## REFERÊNCIAS

ABOUELJINANE, L. *et al.* Reducing ambulance response time using simulation: the case of valde-marne department emergency medical service. *In: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 4673-4781, 2012.

ADAMS, D.B.; HIRSCHFIELD, M. Human resources for health: challenges for the 21<sup>st</sup> century. **Rapp Trimet Statisc Sanit Mond**, v. 51, p. 28-32, 1998.

ADAM, T.S.; SY, C.; LI, J. A system dynamics model of Singapore healthcare affordability. *In: 2011 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 1306-1318 , 2011.

ALEMAN, D.M. *et al.* Accounting for individual behaviors in a pandemic disease spread model. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 2096-2106 , 2010.

AL-GHAMDI, A.S. Emergency medical service rescue times in Riyadh. **Accident Analysis and Prevention**, v. 34, n. 34, p. 499-505, Jul. 2002.

ALSALLOUM, O. I; RAND, G. K. Extensions to emergency vehicle location models. v. 33, p. 2725-2743, 2006.

ALTINEL, I.K.; ULAS, E. Simulation modeling for emergency bed requirement planning. **Annals of Operations Research**, v. 67, p. 183-210, 1996.

ANDERSSON, T.; VARBRAND, P. Decision support tools for ambulance dispatch and relocation. **Journal of the Operational Research Society**, v. 58, p. 195-201, 2007.

ANZILIERO, F. **Emprego do sistema de triagem de Manchester na estratificação de risco: revisão de literatura.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

ASHBY, M. *et al.* Discrete event simulation: optimizing patient flow and redesign in a replacement facility. *In: 2008 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 1632-1636, 2008.

ASHTON, R. *et al.* A simulation-based study of a NHS Walk-in Centre. **Journal of the Operational Research Society**, v. 56, p. 153-161, 2005.

BALDWIN, L.P.; ELDABI, T.; PAUL, R.J. Simulation in healthcare management: a soft approach. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 12, p. 541-557, 2004.

BALLARD, S.M.; KUHL, M.E. The use of simulation to determine maximum capacity in the surgical suite operating room. *In: 2006 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 433-438, 2006.

BANKS, J. *et al.* Discrete event systems simulation. 5 ed., Prentice Hall, 2009. 640 p.

BARBOSA, S.O.B. *et al.* Do doador ao receptor: o ciclo do sangue. **Cadernos da Escola de Saúde**, Curitiba, v. 02, p. 1-10, 2009.

BARNES, S.; GOLDEN, B. A dynamic patient network model of hospital-acquired infections. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding...*, p. 2249-2260, 2010.

BARROS, J.P.S. *et al.* **Simulação baseada em agentes**. *In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais...*, p. 1-10, 2011.

BEELEER, M.F.; ALEMAN, D.M.; CARTER, M.W. A large simulation experiment to test influenza pandemic behavior. *In: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding*, p. 4673-4781, 2012.

BERALDI, P.; BRUNI, M. E. A probabilistic model applied to emergency service vehicle location, v. 196, p. 323-331, 2009.

BERLIN, G.N.; LIEBMAN, J.C. Mathematical analysis of emergency ambulance location. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 8, p. 323-328, 1974.

BERNET, P.M.; ROSKO, M.D.; VALDMANIS, V.G. Hospital efficiency and debit. **Journal of Health Care Finance**, v. 34, n. 4, p. 66-88, 2008.

BORBA, G.S. **Desenvolvimento de uma abordagem para a inserção de simulação no setor hospitalar de Porto Alegre**. (Dissertação de Mestrado) ó Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

BORRÁS, F.; PASTOR, J.T. **Modelos probabilísticos de localización por cubrimiento: una panorámica**. Centro de Investigación Operativa, Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche, Spain, 2004.

BOTELHO, E.M. **Custeio baseado em atividades ó ABC: uma aplicação em uma organização hospitalar universitária**. 2006. 340f. (Tese de Doutorado em Administração) ó Universidade de São Paulo, 2006.

BOWERS, J.; GHATTAS, M.; MOULD, G. Success and failure in the simulation of an Accident and Emergency department. **Journal of Simulation**, v. 3, p. 171-178, 2009.

BRAILSFORD, S.C. *et al.* An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. **Journal of Simulation**, v. 3, p. 130-140, 2009a.

BRAILSFORD, S.C. *et al.* Stakeholder engagement in health care simulation. *In: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding*, p. 1840-1849, 2009b.

BRAILSFORD, S.C.; SYKES, J.; HARPER, P.R. Incorporating human behavior in healthcare simulation models. *In: 2006 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding*, p. 466-472, 2006.

BRAILSFORD, S.C. Tutorial: advances and challenges in healthcare simulation modeling. *In: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding*, p. 1436-1448, 2007.

BRANDEAU, M.L. Allocating resources to control infectious diseases. *In*: SAINFORT, F.; BRANDEAU, M.; PIERSKALLA, W. (editors). **The handbook of OR/MS in Health Care: A handbook of methods and applications**. Cap. 17, Kluwer, pp. 443-464, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Conceitos e definições em saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 1977. 37 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Glossário temático saúde suplementar**. Brasília: Ministério da Saúde, 2009. 84 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia básico para farmácia hospitalar**. Brasília: Ministério da Saúde, 1994. 59 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Regulação médica de emergência: Secretaria de Atenção à Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 126 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. Datasus 2013. **Informações de Saúde**. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br>, 2013. Acesso em: fevereiro de 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sistema de Planejamento do SUS: uma construção coletiva**. Brasília-DF: O Ministério; (Série Cadernos de Planejamento, 9), 2010a.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Urgências e emergências**. Brasília: Ministério da Saúde, 2001. 28 p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras**. Brasília, 2004. 250 p.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório sistêmico de fiscalização da saúde**. Brasília: Ministério. 2014

BROTCORNE, L.; LAPORTE, G.; SEMET, F. Ambulance location and relocation models. **Eur J Oper Res**, v. 147, p. 451-463, 2003.

BUCHANAN, B.; BARSTOW, D.; BECHTEL, R. Building expert systems, constructing an expert system, pp.127-169. Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.

BUCIOLI, A. A. B. **Visualização e simulação de sinais cardiológicos utilizando técnicas de realidade aumentada**. (Dissertação). Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia/Faculdade de Engenharia Elétrica, 2008.

BUNN, D.W.; OLIVEIRA, F.S. Agent-based simulation: an application to the new electricity trading arrangements of england and wales. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, v. 5, n. 2, p. 493-503, 2001.

BURTON, R.M. *et al.* A role for operational research in health care planning and management teams. **Journal of the Operational Research Society**, v. 29, p. 633-641, 1978.

CABRERA, E.; LUQUE, E.; TABOADA, M. ABMS optimization for emergency departments. *In: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding...*, p. 4673-4781, 2012.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELI, N, J. **Operating room planning and scheduling: A literature review**. *European Journal of Operational Research*, v. 201, n. 3, p. 921 ó 932, 2010.

CARRIÓN, E. **Teoria das filas como ferramenta para análise de desempenho de sistemas de atendimento**: estudo do caso de um servidor da UECE. (Dissertação de Mestrado) ó Universidade Estadual do Ceará, 2007.

CARSON II, J.S. Introduction to modeling and simulation. *In: 2005 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 16-23, 2005.

CHAN, W.K.V.; SON, Y.; MACAL, C.M. Agent-based simulation tutorial - simulation of emergent behavior and differences between agent-based simulation and discrete-event simulation. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingsí* , p. 135-150, 2010.

CHASE, R.B.; JACOBS, F.R.; AQUILANO, N.J. **Administração da produção para a vantagem competitiva**. 10. ed., Porto Alegre, RS.: Bookman, 2004.

CHONDE, S.; PARRA, C.; CHANG, C. Minimizing flow-time and time-to-first-treatment in an emergency department through simulation. *In: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding...*, p. 2374-2385, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação à eventos discretos**: teoria e aplicações. 2. edição, São Paulo: Autor, 2007. 254 p.

CLAYDEN, A.D. A decision simulation model for health services management. *Journal of the Operational Research Quarterly*, v. 28, p. 505-515, 1977.

CONE, D.C.; MACMILLAN, D.S. Mass-casualty triage systems: A hint science. *Academic Emergency Medicine*, v. 12, n. 8, p. 739-741, 2005.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA. **Resolução nº 1451/95**. Brasília: CFM, 1995.

CONSELHO REGIONAL DE FARMÁCIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Farmácia Hospitalar**. 2. edição, 2010, 27 p.

CONTRI, R.F.F. **Otimização de sistemas de atendimento emergenciais utilizando a teoria das filas e diagrama de voronoi ponderado**. 2007. 158 f. (Tese de Doutorado em Transporte e Logística) ó Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

COOPER, L. Location-allocation problems. *Oper Res*, v. 11, p. 331-343, 1963.

DAHL, O.J.; MYHRHAUG, B.; NYGAARD, K. **Some features of the Simula 67 language**. Norwegian Computing Center ó Oslo, p. 29-31, 1968.

DAHL, O.J. The roots of object-oriented programming: simula 67. *In*: BROY, M.; DENERT, E. (eds.). *Software Pioneers*, p. 78-90, 2002.

DASKIN, M.S.; DEAN, L.K. Location of Health Care Facilities. *In*: SAINFORT, F.; BRANDEAU, M.; PIERSKALLA, W. (editors). **The Handbook of OR/MS in health care: a handbook of methods and applications**. Cap. 3, Kluwer, pp. 43-76, 2004.

DAVIDSSON, P. Agent based social simulation: a computer science view. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 5, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/7.html>> Acesso em 9 de novembro de 2012.

DAVIES, R. ðSee and treatö or ðSeeö and ötreatö an emergency department. *In*: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 1519-1522, 2007.

DAVIS, A. *et al.* Characteristics of a simulation model of the National Kidney Transplantation System. *In*: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 2320-2329, 2013.

DESHAIES, J.C.; SEIDMAN, D.R. Health information systems. **Socio-economic Planning Science Journal**, v. 5, p. 515-533, 1971.

DESTRI JÚNIOR, J. **Sistema de apoio à decisão espacial no serviço de atendimento móvel de urgência em vias de trânsito**. (Tese de Doutorado) ó Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

DIBBLE, C. Effective real-time allocation of pandemic interventions. *In*: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 2211-2220 , 2010.

DIBBLE, C. *et al.* Simulating pandemic influenza risks of us cities. *In*: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 1548-1550, 2007.

DJANATLIEV, A.; GERMAN, R. Prospective healthcare decision-making by combined system dynamics, discrete-event and agent-based simulation. *In*: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 270-281, 2013.

DREZNER, Z. **Facility location: a survey of applications and methods**. 1st ed. Springer, New York, 1995.

EATOCK, J. *et al.* Meeting the four-hour deadline in an A&E Department. **Journal of Health Organization and Management**, v. 25, n. 6, p. 606-624, 2011.

ENGLAND, W.; ROBERTS, S. D. Applications of computer simulation in health care. *In*: 1978 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 665-677, 1978.

EOM, S.; KIM, E. A survey of decision support system applications (199562001). **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, p. 1264-1278, 2006.

FEI, H.; MESKENS, N.; CHU, C. **A planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy**. *Computers & Industrial Engineering*, v. 58, n. 2, p. 221 ó 230, 2010.

FIGUEIREDO, A.P.S.; LORENA, L.A.N.; CARVALHO, S.V. **Modelos de localização de ambulâncias**. III WORCAP, 2003, São José dos Campos. São José dos Campos, SP: INPE, 2003. 6 p.

FITZSIMMONS, J.A. **An emergency medical system simulation model**. *Proceeding of the 1971 Winter Simulation Conference*, p. 18-25, 1971.

FOGLIATTI, M.C.; MATTOS, N.M.C. **Teoria das filas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

FONTE, C.A.G. **Como otimizar a utilização de sangue no estado do Rio Grande do Sul**. (Dissertação de Mestrado) ó Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

FORRESTER, J.W. **Industrial dynamics**. 1. ed. The M.I.T. Press ó Massachusetts Institute of Technology, 1961. 464p.

GARCIA, A.C.P. **Gestão do trabalho e da educação na saúde: uma reconstrução histórica e política**. (Tese de Doutorado) ó Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

GARCIA, M.L. *et al.* Reducing time in na emergency room via fast-track. *In: 1995 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding...*, p. 1048-1053, 1995.

GAVIRA, M.O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. (Dissertação de Mestrado) ó Universidade Federal de São Carlos, 2003.

GILBERT, N.; BANKES, S. **Platforms and methods for agent-based modeling**. The National Academy of Sciences, 2002. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/99/suppl.3/7197.short>. Acesso em 05 de novembro de 2012.

GILBERT, N.; TROITZSCH, K.G. **Simulation for the social scientist**. 2. ed., McGraw-Hill Education, 2008. 298 p.

GLOWACKA, K.J.; HENRY, R.M.; MAY, J.H. A hybrid data mining/simulation approach for modelling outpatient no-shows in clinic scheduling. **Journal of the Operational Research Society**, v. 60, p. 1056-1068, 2009.

GOLDBERG, J.B. Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. **EMS Manage J**, v. 1, p. 20-39, 2004.

GOMES, M.J.V.M.; REIS, A.M.M. **Ciências farmacêuticas: uma abordagem em farmácia hospitalar**. São Paulo: Atheneu, 2006.

GONÇALVES, E.L. **O hospital e a visão administrativa contemporânea**. São Paulo: Pioneira, 1989. 282 p.

GONSALVES, T.; ITOH, K. Service optimization with patient satisfaction in healthcare systems. **Journal of Simulation**, v. 3, p. 150-162, 2009.

GUEDES, E.P. **Uma metodologia integrada de simulação em um sistema de informações geográficas:** aplicação no setor de carga aérea no Brasil. (Tese de Doutorado) ó Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

GUNAL, M.M.; PIDD, M. Discrete event simulation for performance modelling in healthcare: a review of the literature. **Journal of Simulation**, v. 4, n. 1 (Mar), pp. 42-51, 2010.

GUNAL, M.M.; PIDD, M. DGHPSIM: Generic simulation of hospital performance. **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, v. 21, n. 4, article 23, 2011.

GUNAL, M.M.; PIDD, M. Interconnected des models of emergency, outpatient, and inpatient departments of a hospital. *In: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingsí* , p. 1461-1466, 2007.

GUNAL, M.M.; PIDD, M. Understanding accident and emergency department performance using Simulation. *In: 2006 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingsí* , p. 446-452, 2006.

GUO, M.; WAGNER, M.; WEST, C. Outpatient clinic scheduling: a simulation approach. *In: 2004 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingsí* , p. 1981-1987, 2004.

HARREL, C. **Simulação otimizando sistemas.** São Paulo: IMAM, 2002.

HENDERSON, S.G.; MASON, A.J. Ambulance service planning: simulation and data visualization. *In: SAINFORT, F.; BRANDEAU, M.; PIERSKALLA, W. (editors), Handbook of OR/MS in health care: a handbook of methods and applications.* Cap. 4, Kluwer, pp. 77-102, 2004.

HERMANS, M.D.; SLUIJS, J. M.; AARTSEN, H. Reducing inter-organizational barriers in the medical sector with simulation. *In: 1998 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedings...*, p. 1433-1440, 1998.

HIDEKI, H. *et al.* **Pesquisa operacional:** para cursos de Engenharia. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

HILLIER, F.; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research.** 9. ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

HOLLAND, R.H. A simulation study of a multi-channel Queueing System in the hospital environment. *In: 1969 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingsí* , p. 279-290, 1969.

HOLM, L.B.; DAHL, F.A. Simulating the effect of physician triage in the emergency department of Akershus University Hospital. *In: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingsí* , p. 1896-1905, 2009.

HOUSSEMAN, S. *et al.* Impacts of radio-identification on cryo-conservation centers through simulation. *In: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding* , p. 2065-2077, 2009.

HSU, V. N.; MATTA, R. de; LEE, C.-Y. **Scheduling patients in an ambulatory surgical center**. *Naval Research Logistics (NRL)*, v. 50, n. 3, p. 2186-238, 2003.

IANNONI, A.P.; MORABITO, R. A multiple dispatch and partial backup hypercube queuing model to analyze emergency medical systems on highways. **Tran Res Part E**, v. 43, p. 755-771, 2007.

IANNONI, A.P.; MORABITO, R.; SAYDAM, C. An optimization approach for ambulance location and the districting of the response segments on highways. **Eur J Oper Res**, v. 195, p. 528-542, 2009.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores sociodemográficos e de saúde no Brasil 2009**. 2009. 152 p.

IBRAHIM, R.; WHITT, W. Delay predictors for customer service systems with time-varying parameters. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding* , p. 2375-2386 , 2010.

INGALLS, R.G. **Introduction to simulation**. *In: 2008 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding*, p. 17-26, 2008.

ISKEN, M.W.; WARD, T.J.; MCKEE, T.C. Simulation outpatient obstetrical clinics. *In: 1999 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding* , p. 1557-1563, 1999.

IYER, A.K. *et al.* A biologically based discrete-event simulation model of liver transplantation in the United States for pediatric and adult patients. *In: 2011 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding* , p. 1275-1282 , 2011.

JAHN, B. *et al.* Tutorial in medical decision modeling incorporating waiting lines and queues using discrete event simulation. **Value In Health, International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research (ISPOR)**, v. 13, n. 4, p. 501-506, 2010.

JARDIM, R.X.; CONCEIÇÃO, S.V.; CARVALHO, C.R.V. Localização estratégica para o serviço de atendimento móvel de urgência na região metropolitana de Belo Horizonte. *In: XXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*. Florianópolis, SC, Brazil, 3-5 November 2004, pp. 2958-2965, **Anais...**, 2004.

JOAQUIM, E.G. **Análise de um novo centro cirúrgico para o Hospital Universitário Cajuru**: estudo de caso baseado em simulação computacional. (Dissertação) ó Paraná: Pontifícia Universidade Católica/Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas, 2005.

KADRI, F.; CHAABANE, S.; TAHON, C. A simulation-based decision support system to prevent and predict strain situations in emergency department systems. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 42, p. 32-52, 2014.

KASAIE, P.; DOWDY, D.W.; KELTON, W.D. An agent-based simulation of a tuberculosis epidemic: understanding the timing of transmission. *In: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceeding* , p. 2227-2238, 2013.

KASAIE, P.; KELTON, W.D.; VAGHEFI, A. Toward optimal resource-allocation for control of epidemics: an agent-based-simulation approach. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 2237-2248 , 2010.

KIRTLAND, A. *et al.* Simulation an emergency department. It's as much fun as. *In: 1995 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 1039-1042, 1995.

KLEIN, R. An empirical examination of patient-physician portal acceptance. **European Journal of Information Systems**. v. 16, p. 751-760, 2007.

KOLB, E.M.W.; PECK, J. Reducing emergency department overcrowding ó five patient buffer concepts in comparison. *In: 2008 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 1516-1525, 2008.

KULJIS, J.; PAUL, R.J. Stergioulas can health care benefit from modeling and simulation methods in the same way as business and manufacturing has? *In: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 1449-1453, 2007.

LA FORGIA, G.M.; COUTTOLENC, B.F. **Desempenho hospitalar brasileiro: em busca da excelência**. São Paulo: Singular, 2009.

LADANY, S.P.; TURBAN, E. A simulation of emergency rooms. **Computer Operational Research**, v. 4, p. 89-100, 1978.

LAPIERRE, S.D. *et al.* Bed allocation techniques based on census data. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 33, p. 25-38, 1999.

LAW, A.M. **Simulation modeling & analysis**. 4. edição. Arizona, USA: McGrawHill, 2007. 768 p.

LEE, T. *et al.* A simulation-based iterative method for a trauma center ó air ambulance location problem. *In: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 4673-4781, 2012.

LIMA, F.X.C.; BELDERRAIN, M.C.N. Propostas de melhorias de atendimento num Pronto Socorro utilizando Teoria das Filas e Teoria de Restrições. *In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓSGRADUAÇÃO DO ITA*, v. 13, 2007, São José dos Campos. **Anais eletrônicos...**, 2007. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xiiiencita/MEC15.pdf>>. Acesso em: fevereiro de 2015.

LIZON, N.E.; ALEMAN, D.M.; SCHWARTZ, B. Incorporating healthcare systems in pandemic models. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 2230-2236 , 2010.

LOUZADA, S.S.S.; STANG, F.; CALABREZ, M. Administrar e humanizar no Hospital. **Revista FACEVV**, p. 68-75, 2008.

LOWERY, J.C. Barriers to implementing simulation in healthcare. *In: 1994 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceeding*** , p. 868-875, 1994.

LOWERY, J.C. Introduction to simulation in health care. *In: 1996 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 78-84, 1996.

MACAL, C.M. *et al.* Modeling the spread of community-associated MRSA. *In: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 4673-4781, 2012.

MACAL, C.M.; NORTH, M.J. Agent based modeling and simulation: desktop ABMS. *In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Washington, **Anaisí*** , 2007. Disponível em: <<http://www.informs-sim.org/wsc07papers/011.pdf>>. Acesso em: 9 de novembro de 2012.

MACAL, C.M.; NORTH, M.J. Tutorial on agent-based modeling and simulation. *In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. Florida, **Anais...***, 2005. Disponível em: <<http://www.informs-sim.org/wsc05papers/002.pdf>>. Acesso em: 9 de novembro de 2012.

MACAL, C.M.; NORTH, M.J. Tutorial on agent-based modeling and simulation Part 2: How to Model with Agents. *In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Monterey, **Anais...***, 2006. Disponível em: <<http://www.informs-sim.org/wsc06papers/008.pdf>>. Acesso em: 9 de novembro de 2012.

MACKAY, M.; LEE, M. Choice of models for the analysis and forecasting of hospital beds. **Health Care Management Science**, v. 8, p. 221-230, 2005

MAHAPATRA, S. *et al.* Pairing emergency severity index5-level triage data with computer aided system design to improve emergency department access and throughput. *In: 2003 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , pp. 1917-1925, 2003.

MALLOR, F.; AZCÁRATE, C. Combining optimization with simulation to obtain credible models for intensive care units. **Ann Oper Res**, p. 1-17, 2011.

MANDELL, M.B. Covering models for two-tiered emergency medical services systems. **Location Sci**, v. 6, p. 355-368, 1998.

MARGERLIEN, J. M.; MARTIN, J. B. **Surgical demand scheduling: A review**. *Health Services Research*, v. 13, n. 4, p. 418-433, 1978.

MARINHO, A.; CARDOSO, S.S.; ALMEIDA, V.V. Disparidades nas filas para transplantes de órgãos nos estados brasileiros. **Cad Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 786-796, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2010000400020&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2010000400020&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: janeiro de 2015.

MARINHO, A.; CARDOSO, S.S. Um estudo multinível sobre as filas para internações relacionadas com a gravidez, o parto e o puerpério no SUS. **Econ Apl**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 527-554, dez. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-80502007000400004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-80502007000400004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: fevereiro de 2015.

MARINHO, A. **Um estudo sobre as filas para internações e para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro**. Texto para Discussão. IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), p.1-39, 2004.

MARINHO, A. Um estudo sobre as filas para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro. **Cad Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 10, p. 2229-2239, 2006.

MARINHO, N.R.S.; SOUZA, I.J.F.; SILVA, E.R. **A incidência do vírus HIV entre doadores de sangue do hemocentro de Natal**. Universidade Potiguar de Natal - UNP, 2005.

MCGUIRE, F. Using simulation to reduce length of stay in emergency departments. *In: 1994 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 861-867, 1994.

MEINDL, B.; TEMPL, M. **Analysis of commercial and free and open source solvers for linear optimization problems**. Institut f. Statistik u. Wahrscheinlichkeitstheorie. Vienna University of Technology, 2012.

MENDONÇA, F.C.; MORABITO, R. Aplicação do modelo hipercubo para análise de um sistema médico-emergencial em rodovia. **Gest Prod**, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 73-91, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2000000100006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2000000100006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: dezembro de 2014.

MENG, Y. *et al.* An application of agent-based simulation to the management of hospital-acquired infection. **Journal of Simulation**, v. 4, p. 60-67, 2010.

MIYAGE, P.E. **Introdução à simulação discreta**. Notas de aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

MOCARZEL, B. *et al.* Modeling and simulation of patient admission services in a multi-specialty outpatient clinic. *In: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 2309-2319, 2013.

MORABITO, R.; CHIYOSHI, F.; GALVÃO, R.D. Non-homogeneous servers in emergency medical systems: practical applications using the hypercube queueing model. **Soc-Eco Plan Sci**, v. 42, p. 255-270, 2008.

MOREIRA, D.A. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. 2. ed., São Paulo: Thomson Learning, 2007.

NAFARRATE, A.; FOWLER, J.W.; WU, T. Design of centralized ambulance diversion policies using simulation-optimization. *In: 2011 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , pp. 1251-1262, 2011.

NIKAKHTAR, A.; HSIANG, S. M. Incorporating the dynamics of epidemics in simulation models of healthcare systems. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 43 p. 67-78, 2014.

NJHA. NEW JERSEY HOSPITAL ASSOCIATION. **Glossary of Healthcare Terms & Abbreviations**. New Jersey: NJHA, 2002. 43 p.

NOGUEIRA JÚNIOR, L.C. **Um estudo para redução do tempo de resposta do SAMU de Belo Horizonte através da realocação das bases de operação.** (Dissertação de Mestrado) ó Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

NOGUEIRA JÚNIOR, L.C.; PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S. Reducing emergency medical service response time via the reallocation of ambulance bases. **Health Care Manag Sci**, 18 april 2014.

NORTH, M.J.; MACAL, C.M. **Managing business complexity:** Discovering Strategic Solutions with Agesnt-Based Modeling and Simulation. Oxford University Press, 2007. 313 p.

OLIVEIRA, D.G. **Simulação do fluxo operacional do serviço de atendimento pré-hospitalar realizado pelo GSE/SAMU no município do Rio de Janeiro.** (Dissertação de Mestrado) ó Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2012.

OLIVEIRA, E.X.G; TRAVASSOS, C.; CARVALHO, M.S. Acesso à internação hospitalar nos municípios brasileiros em 2000: territórios do Sistema Único de Saúde. **Cad Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 20 Sup 2:298-309, 2004.

OLIVEIRA, L.K.; NOVAES, A.G.; DECHECHI, E. Analysis of agribusiness systems utilizing system dynamics: a methodological contribution. *In: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE ECONOMIA E GESTÃO DE REDES AGRO-ALIMENTARES. Anais...*, p. 1-13, 2003.

OLIVEIRA, M.J.F. **Uma introdução à simulação.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2001.

OLIVEIRA, S.P. **Modelo de previsão de demanda de médicos para internação pelo SUS:** estudo de caso para o Estado do Rio de Janeiro. (Tese de Doutorado) ó Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2007.

OPAS. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Información y Análisis de Salud: Situación de Salud en las Américas:** Indicadores Básicos 2009. Washington, D.C., Estados Unidos de América, 2009.

OSIDACH, V.Z.; FU, M.C. Computer simulation of a mobile examination center. *In: 2003 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* ,, p. 1868-1875, 2003.

OWEN S.H.; DASKIN M. S. Strategic facility location: a review. **Eur J Oper Res**, v. 111, p. 423-447, 1998.

OZCAN, Y.A. **Quantitative methods in health care management: techniques and applications.** 2nd ed. San Francisco: Jossey-Bass, 2009. 438 p.

PAIM, J. *et al.* O sistema de saúde brasileiro: história, avanços e desafios. **The Lancet**, [Online], 9 de maio de 2011 DOI:10.1016/S0140- 6736(11)60054-8, 2011.

PARVIN, H.; GOEL, P.; GAUTAM, N. An analytic framework to develop policies for testing, prevention, and treatment of two-stage contagious diseases. **Ann Oper Res**, v. 196, p. 707-735, 2012.

PENDHARKAR, S.R.; BISCHAK, D.P.; ROGERS, P. Evaluating healthcare systems with insufficient capacity to meet demand. *In*: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 4673-4781, 2012.

PESSÔA, L.A.M. **Simulação e mapas cognitivos em apoio à gestão do centro cirúrgico do hospital universitário**. (Dissertação de Mestrado) ó Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2010.

PIDD, M. **Computer simulation in management science**. 5. ed., John Wiley & Sons, 2004. 312 p.

PIDD, M. Mixing other methods with simulation is no big deal. *In*: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 4673-4781, 2012.

PIDD, M. **Why modeling matters**. *In*: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Florida, 2008. **Anais...**, 2008. Disponível em: <<http://www.informs-sim.org/wsc08papers/003.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2012.

PIERANTONI, C.R. Desafios para a formação de gestores do sistema de saúde: processos e produtos. *In*: PIERANTONI, C.R.; VIANNA, C.M.M. (organizadores). **Gestão de sistemas de saúde**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro ó UERJ. Instituto de Medicina Social ó IMS, 2003.

PIERSKALLA, W.P. Supply chain management of blood banks. *In*: SAINFORT, F.; BRANDEAU, M.; PIERSKALLA, W. (editors). **Handbook of OR/MS in health care: A handbook of methods and applications**. Cap. 5, Kluwer, pp. 103-145, 2004.

PINTO, L.R. *et al.* Analysis of hospital bed capacity via queuing theory and simulation. *In*: 2014 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , 2014.

PINTO, L.R.; SILVA, P.M.S.; YOUNG, T.P. A generic method to develop simulation models for ambulance systems. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 51, pp. 170-183, 2015.

PIROLO, J. *et al.* Utilization of discrete event simulation in the prospective determination of optimal cardiovascular Lab processes. *In*: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 1916-1926, 2009.

PONS, P.T.; MARKOVCHICK, V.J. Eight minutes or less: does the ambulance response time guideline impact trauma patient outcome? **Journal of Emergency Medicine**, v. 23, n. 1, p. 43-48, 2002.

RADZICKI, M.J.; TAYLOR, R.A. **Introduction to system dynamics: A systems approach to understanding complex policy issues**. U.S. Department of Energy's, 1997. Disponível em < <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm>>. Acesso em: 05 de novembro de 2012.

RAIMUNDINI, S.L. *et al.* Aplicabilidade do sistema ABC e análise de custos hospitalares: comparação entre hospital público e hospital privado. *In: XXVIII ENCONTRO DA ANPAD (EnANPAD), Anais...*, 2004.

RAJAGOPALAN, H.K.; SAYDAM, C.; XIAO, J.A. Multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. **Comput Oper Res**, v. 35, p. 814-826, 2008.

RAMIS, F.J.; PALMA, J.L.; BAESLER, F.F. The use of simulation for process improvement at an ambulatory surgery center. *In: 2001 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 1401-1404, 2001.

RE VELLE, C. *et al.* Facility location: A review of context-free and EMS models. **Health Services Research**, p. 129-146, 1977.

REARDON, J.L.; DAVIDSON, E. An organizational learning perspective on the assimilation of electronic medical records among small physician practices. **European Journal of Information Systems**, v. 16, p. 681-694, 2007.

REIS, L.G. **Análise da aplicabilidade do custeio baseado em atividades em organização da área hospitalar**: estudo de caso em um hospital privado de Londrina. 2004. 176 f. (Dissertação de Mestrado em Administração) ó Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, 2004.

REZENDE, S.O. (org.). **Sistemas Inteligentes**: fundamentos e aplicações. Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

RIISE, A.; BURKE, E. K. Local search for the surgery admission planning problem. *Journal of Heuristics*, v. 17, p. 3896414, 2011.

ROBERTS, N. **Introduction to computer simulation**: the system dynamics approach. Reading Mass: Assison-Wesley, 1983.

ROBERTS, S.D.; ENGLAND, W.L. Simulation and health care delivery. *In: 1980 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 143-164, 1980.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation part I: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, p. 278-290, 2008a.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation part II: a framework for conceptual modelling. **Journal of the Operational Research Society**, v. 59, p. 291-304, 2008b.

ROBINSON, S. Discrete-event simulation: from the pioneersto the present, what next? **Journal of the Operational Research Society**, v. 56, p. 619-629, 2005.

ROCHA, F. *et al.* Aplicação de value stream mapping e simulação à eventos discretos para melhoria de processo de um hospital. *In: XLVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL. Anaisí* , p. 2758- 2768, 2014.

RUOHONEN, T.; NEITTAANMAKI, P.; TEITTINEN, J. Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care. *In: 2006 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 453-458, 2006.

SAHIN G.; SURAL, H. A review of hierarchical facility location models. **Comput Oper Res**, v. 34, p. 2310-2331, 2007.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D.I. Agent-based simulation applied in operations management: a literature review. *In: XV INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT. **Anaisí*** , p. 1-12, 2009.

SÁNCHEZ, P.J. Fundamentals of simulation modeling. *In: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 54-62, 2007.

SANCHEZ, S.M. *et al.* Emerging issues in healthcare simulation. *In: 2000 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 1999-2003, 2000.

SANTANA, J.P. **A gestão do trabalho nos estabelecimentos de saúde**: elementos para uma proposta. *In: SANTANA, J.P. (org). CADRHU. Natal: EDUFRN*, p. 387-400, 1999.

SCHWAAB, A.S.; FREITAS FILHO, P.J. Dynamic-fuzzy simulation model for reproduction of mortality curves. *In: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 2078-2089, 2009.

SEPÚLVEDA, J.A. *et al.* The use of simulation for process improvement in a cancer treatment center. *In: 1999 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 1541-1548, 1999.

SILVA JÚNIOR, A.R. **O uso de realidade virtual na simulação e treinamento de inseminação artificial em bovinos com dispositivos hápticos** (Dissertação) ó Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia/Faculdade de Engenharia Elétrica, 2012.

SILVA, P.M.S. **Análise do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Belo Horizonte via simulação**. (Dissertação de Mestrado) ó Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SILVA, P.M.S.; PINTO, L.R. Emergency Medical Systems Analysis by Simulation and Optimization. *In: 2010 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , pp. 2422-2432, 2010.

SILVA, T.A.A. **Uso de ambientes virtuais para a simulação de acidentes radiológicos**. (Tese de Doutorado) ó Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2012.

SINREICH, D.; MARMOR, Y.N. A simple and intuitive simulation tool for analyzing emergency department operations. *In: 2004 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí*** , p. 1994-2002, 2004.

SNYDER, L.V. Facility location under uncertainty: a review. **IIIE Trans**, v. 38, p. 537-554, 2006.

SOUZA, A.A. *et al.* Modelagem do custeio baseado em atividades para o centro cirúrgico de hospitais. *In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais...*, p. 2-14, 2008.

SOUZA FILHO, E.; TORRES, N.T.; MAGALHÃES, M.S.; OLIVEIRA, M.J.F. Simulação à eventos discretos aplicada ao setor de triagem do hospital Antônio Pedro. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 2007. Anais, 2007.*

SOUZA, R.M. **Análise da configuração de SAMU utilizando modelo hipercubo com prioridade na fila e múltiplas alternativas de localização de ambulâncias.** 2010. 221 f. (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção) ó Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. Disponível em: <[http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=3635](http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3635)>.

STERMAN, J.D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.** McGraw-Hill Higher Education, 2000. 983 p.

STROPARO, J.R. **Estudo da taxa de ocupação do centro cirúrgico através da modelagem e simulação de sistemas.** (Dissertação de mestrado) ó Paraná: Pontifícia Universidade Católica/Tecnologia em Saúde, 2005.

SUNG, I.; LEE, T. Modeling requirements for an emergency medical service system design evaluator. *In: 2012 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 4673-4781 , 2012.

TAKAKUWA, S.; KATAGIRI, D. Modeling of patient flows in a large-scale outpatient hospital ward by making use of electronic medical records. *In: 2007 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 1523-1531, 2007.

TAKEDA, R.A. **Uma contribuição para avaliar o desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde.** (Tese de Doutorado) ó Universidade Federal de São Paulo, 2000.

TAKEDA, R.A.; WIDMER, J.A.; MORABITO, R. Aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliar a descentralização de ambulâncias em um sistema urbano de atendimento médico de urgência. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 39-71, abr. 2004.

TAKEDA, R.A.; WIDMER, J.A.; MORABITO, R. Uma proposta alternativa para avaliação do desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde brasileiros. **Transportes**, v. 9, p. 9-27, 2001.

TAN, K.W.; LAU, H.C.; LEE, F.C.Y. Improving patient length-of-stay in emergency department through dynamic queue management. *In: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 2362-2373, 2013.

TAVAKOLI, A.; LIGHTNER, C. Implementing a mathematical model for locating EMS vehicles in Fayetteville, NC. **Comput Oper Res**, v. 31, p. 1549-1563, 2004.

TORRES, N.T. **Avaliação de desempenho no centro cirúrgico do Hospital Universitário da UFRJ (HUCFF) utilizando a análise envoltória de dados (DEA) e simulação**. (Dissertação de Mestrado) ó Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2007.

TURATO, E.R. Métodos qualitativos e quantitativos na área de saúde: definições, diferenças e seus objetivos de pesquisa. **Revista de Saúde Pública**, p. 507-514, 2005.

ULLRICH, C. *et al.* Pre-hospital simulation model for medical disaster management. *In*: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 2432-2443, 2013.

UYENO, D.; VERTINSKY, I. Emergency health care system models. **ACM SIGSIM Simulation Digest**, v. 10, p. 63-65, 1979.

VALENÇA, A.P. **Simulação do fluxo de usuários do grupo de avaliação e acompanhamento de pacientes especiais da Policlínica Naval Nossa Senhora da Glória**. (Dissertação de Mestrado) ó Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2011.

VASILAKIS, C.; SOBOLEV, B.G.; LEVY, A.R. A simulation study of scheduling clinic appointments in surgical care: individual surgeon versus pooled lists. **Journal of the Operational Research Society**, v. 58, p. 202-211, 2007.

VIACAVA, F. *et al.* Uma metodologia de avaliação do desempenho do sistema de saúde brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, n. 3, p. 711-724, 2004.

VILELLA, P.R.C. **Introdução à dinâmica de sistemas**. Notas de aula. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005.

WANG, B.; MCKAY, K.; JEWER, J. Physician shift behavior and its impact on service performances in an emergency department. *In*: 2013 WINTER SIMULATION CONFERENCE. **Proceedingí** , p. 2350-2361, 2013.

WATSON, H.J.; SPRAGUE, R.H. **Sistema de apoio à decisão: colocando a teoria em prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Relatório Mundial da Saúde 2006**. Geneva: World Health Organization, 2006. Disponível em: [http://www.who.int/whr/2006/06\\_overview\\_pr.pdf?ua=1](http://www.who.int/whr/2006/06_overview_pr.pdf?ua=1). Acesso em: dezembro de 2004.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Relatório Mundial da Saúde 2008**. Geneva: World Health Organization, 2008. Disponível em: [http://www.who.int/eportuguese/publications/whr08\\_pr.pdf?ua=1](http://www.who.int/eportuguese/publications/whr08_pr.pdf?ua=1). Acesso em: dezembro 2014.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Relatório Mundial da Saúde 2010**, Geneva: World Health Organization, 2010. Disponível em: <http://www.who.int/eportuguese/publications/WHR2010.pdf?ua=1>. Acesso em: dezembro 2014.

WHS. WORLD HEALTH STATISTICS. 2010. Geneva: World Health Organization, 2010. Disponível em: [http://www.who.int/whosis/whostat/EN\\_WHS10\\_Full.pdf?ua=1](http://www.who.int/whosis/whostat/EN_WHS10_Full.pdf?ua=1). Acesso em: dezembro 2014.

WIJEWICKRAMA, A.; TAKAKUWA, S. Simulation analysis of an outpatient department of internal medicine in a university hospital. *In: 2006 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 425-432, 2006.

WILLCOCKS, L.P.; MARK, A.L. IT Systems Implementation: Research Findings from the Public Sector. **JIT**, v. 4, p. 92-103, 1989.

WILSON, J.C.T. Implementation of computer simulation projects in health care. **Operational Research Society**. v. 32, p. 825-832, 1981.

WONG, C. *et al.* Designing the medication ordering, dispensing, and administration process in an acute care academic health sciences centre. *In: 2003 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 1894-1902, 2003.

YAMADA, A.T.T. **Ambulatório médico especializado**. Secretaria do Estado de São Paulo. Notas de aula, 2009.

YURTKURAN, A.; EMEL, E. Simulation based decision-making for hospital pharmacy management. *In: 2008 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 1539-1546, 2008.

ZELTYN, S. *et al.* Toward simulation-based real-time decision-support systems for emergency departments. *In: 2009 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Proceedingí* , p. 2042-2053, 2009.

ZHANG, B. *et al.* A mixed integer programming approach for allocating operating room capacity. **Journal of the Operational Research Society**, v. 60, p. 663-673, 2009.