

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Rodolfo Benedito Zattar da Silva

MODELO MATEMÁTICO PARA
ALOCAÇÃO DINÂMICA DA CAPACIDADE
EM SERVIÇOS DE RADIOLOGIA

Porto Alegre

2022

Rodolfo Benedito Zattar da Silva

Modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade em serviços de radiologia

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Porto Alegre

2022

Rodolfo Benedito Zattar da Silva

Modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade em serviços de radiologia

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Alejandro Germán Frank

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Guilherme Luz Tortorella, Dr. (UFSC/DEPS)

Professor Milad Yousefi, Dr. (UFRGS/PPGEP)

Professor Moiseis dos Santos Cecconello, Dr. (UFMT)

*Dedico esta tese aos meus pais Rosemeire
Zattar e Rachid Pinto (in memoriam) por todo
amor e carinho. À minha filha Maria
Fernanda para se inspirar e construir sua
trajetória de vida pautada na educação*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me proporcionado o dom da vida e também por permitir que mais esta etapa da minha vida profissional fosse concluída.

Agradeço aos meus pais Rosemeire e Rachid, minhas irmãs Rosângela e Roselma, meus irmãos Luiz Felipe, Rainan e Ronan, meus sobrinhos Matheus e Giulia, familiares e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para que pudesse realizar este grande sonho pessoal e profissional.

Em especial, agradeço a minha esposa Fábria Aires por ter me apoiado em cada decisão. Ela, mais do que ninguém, viu de perto minhas angústias durante esta trajetória e me estendeu as mãos para que pudéssemos continuar lutando.

Agradeço ao meu orientador Flávio Fogliatto que sempre foi muito solícito. Muito obrigado pelas orientações, confiança e por todo o conhecimento transmitido. Sem dúvidas, és, um exemplo de profissional a ser seguido. Ao professor Michel Anzanello por todo conhecimento transmitido desde o mestrado. Agradeço também aos demais professores e colegas do PPGEP/UFRGS.

Agradeço a UFMT pela concessão do afastamento para a conclusão do trabalho. Agradeço aos colegas da Faculdade de Engenharia do Campus de Várzea Grande, em especial, Frederico Ayres, Cinthia Birgante e Mauro Naves que foram meus professores na graduação e hoje são meus colegas de trabalho.

Agradeço também o professor Arturo Zavala do departamento de Economia da UFMT pelo apoio dado na realização do segundo artigo. Sou muito grato ainda aos colegas André Krindges e Moiseis Cecconello do departamento de Matemática pelos constantes debates para a compreensão e realização terceiro artigo, bem como pelas muitas horas de programação que foram dispensadas.

Agradeço a CAPES pela concessão do auxílio financeiro através do programa de formação doutoral docente (Prodoutoral) no período de junho de 2018 a agosto de 2020.

Agradeço ainda os representantes da Associação de Pós-Graduandos (APG) da UFRGS pelo auxílio na demanda para defesa de tese junto à Câmara de Pós-Graduação (CAMPG).

Por fim, agradeço o professor Tiago Severo e o doutor Carlo Faccin do departamento de radiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) pela acolhida, atenção dispensada e pelos dados fornecidos.

Muito obrigado!

SILVA, Rodolfo Benedito Zattar. *Modelo Matemático para Alocação Dinâmica da Capacidade em Serviços de Radiologia*, 2022. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

A presente tese apresenta proposições para a alocação dinâmica da capacidade em serviços de radiologia através de um modelo matemático estruturado a partir do Processo de Decisão de Markov (MDP, do inglês *Markov Decision Process*), de modo a contribuir com a gestão de operações nessas instalações. Assim, os objetivos desta tese são: (i) identificar a partir de uma revisão sistemática da literatura os principais métodos de intervenção que foram utilizados para reduzir as taxas de *no-show* nos sistemas de saúde; (ii) desenvolver um modelo preditivo de *no-show* de pacientes ambulatoriais em exames futuros de tomografia computadorizada (TC), a partir dos fatores associados significativamente a este fenômeno; e (iii) estruturar um modelo matemático como um MDP de horizonte finito de tempos discretos para alocar a capacidade de atendimento disponível. O desempenho do modelo proposto nesta tese foi avaliado por meio de um estudo de caso no departamento de radiologia de um grande hospital público brasileiro e foram fornecidas diretrizes para a sua utilização. Deste modo, as análises numéricas permitiram recomendar o uso da política ótima obtida pelo modelo apresentado sob a regra de *overbooking* “duplo” e com disponibilidade de dois recursos por período de serviço extra para alocação da capacidade no departamento de radiologia analisado.

Palavras-chave: Serviços de radiologia; Modelo matemático; Processos de Decisão de Markov; *No-show* de pacientes; *Overbooking*.

SILVA, Rodolfo Benedito Zattar. *Modelo Matemático para Alocação Dinâmica da Capacidade em Serviços de Radiologia*, 2022. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

ABSTRACT

This dissertation presents propositions for the dynamic allocation of capacity in radiology services through a Markov Decision Process (MDP) mathematical model, aiming at contributing to the management of operations in those facilities. The objectives of this dissertation are: *(i)* to identify, through a systematic literature review, the main intervention methods used to reduce no-show rates in health systems; *(ii)* to develop a predictive model of no-show for outpatients in computed tomography (CT) exams, based on factors significantly associated with the phenomenon; and *(iii)* to structure a mathematical model as a discrete time finite horizon MDP to allocate the available service capacity. The performance of the model proposed in this dissertation was assessed through a case study in the radiology department of a large Brazilian public hospital, and guidelines for its use were provided. Numerical analyses allowed us to recommend the use of the optimal policy under the “double” overbooking rule and with the availability of two resources per extra service period for allocation of capacity in the analyzed radiology department.

Key words: Radiology services; Mathematical model; Markov Decision Process; No-show of patients; Overbooking

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Processo de seleção de artigos em etapas	31
Figura 2.2: Número de publicação em grupos de 5 anos ($N = 55$)	32
Figura 3.1: (A) Curvas ROC para previsão de <i>no-show</i> na porção de treinamento; (B) Curvas ROC para previsões de <i>no-show</i> na porção de teste	73
Figura 3.2: Despesas em saúde no Brasil no setor público como porcentagem do PIB entre 2000 e 2017	78
Figura 3.3: Natureza matemática entre idade e o <i>no-show</i> dos pacientes	83
Figura 3.4: Natureza matemática entre distância e o <i>no-show</i> dos pacientes.....	83
Figura 3.5: Natureza matemática entre <i>lead time</i> e o <i>no-show</i> dos pacientes	84
Figura 3.6: Natureza matemática entre número de consultas no ano anterior e o <i>no-show</i> dos pacientes	84
Figura 3.7: Natureza matemática entre número de <i>no-shows</i> em consultas no ano anterior e o <i>no-show</i> dos pacientes	85
Figura 3.8: Natureza matemática entre número de exames agendados no ano anterior e o <i>no-show</i> dos pacientes.....	85
Figura 4.1: Representação da capacidade de atendimento	100
Figura 4.2: Dinâmica do modelo considerando períodos regulares	108
Figura 4.3: Dinâmica do modelo considerando períodos extras	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Estrutura das etapas desenvolvidas.....	19
Tabela 2.1: Palavras-chaves e estratégia de busca de artigos.....	28
Tabela 2.2: Número de trabalhos publicados conforme tipos de estudo e de intervenção.....	32
Tabela 2.3: Número de trabalhos e taxas de <i>no-show</i> por país e especialidade médica.....	33
Tabela 2.4: Resumo das características dos estudos incluídos na revisão, ordenados por especialidade (em ordem decrescente do número de trabalhos publicados) e pelo ano de publicação (do mais recente ao mais antigo).....	54
Tabela 3.1: Informações sobre variáveis preditoras e referências usando-as em modelos de <i>no-show</i>	65
Tabela 3.2: Base de dados analisada com abordagens de <i>oversampling</i> e <i>undersampling</i>	67
Tabela 3.3: Estatísticas descritivas da amostra de pacientes.....	69
Tabela 3.4: Relação entre variáveis preditivas contínuas e o <i>no-show</i> dos pacientes.....	70
Tabela 3.5: Métricas de classificação obtidas por meio de validação cruzada por abordagem de balanceamento de classes.....	71
Tabela 3.6: Coeficientes de regressão do modelo de regressão logística penalizada e coeficientes de regressão, <i>odds ratio</i> , intervalos de confiança de 95% (IC95%) e valores de <i>p</i> para análises univariadas e multivariadas.....	72
Tabela 3.7: Probabilidades observadas e previstas para cada decil na porção de teste.....	74
Tabela 3.8: Matriz de confusão para o modelo de regressão logística penalizada para a porção de teste.....	74
Tabela 3.9: Comparação dos achados entre o estudo atual e estudos semelhantes relatados na literatura em relação à significância dos preditores de <i>no-show</i> e restritos aos conjuntos de dados de radiologia.....	77
Tabela 3.10: Características de um paciente hipotético e do exame agendado.....	87
Tabela 4.1: Características dos trabalhos que abordaram o problema de alocação de capacidade em instalações de diagnósticos por imagem.....	95
Tabela 4.2: Lista de notação usada.....	97
Tabela 4.3: Valores dos parâmetros para o caso base e dois níveis alternativos (baixo e alto).....	110
Tabela 4.4: Definições e tipos das variáveis preditoras de <i>no-show</i>	111
Tabela 4.5: Estatísticas descritivas para o custo total das políticas, considerando dois tipos de <i>overbooking</i> , dois níveis de recursos extras e três níveis de custos, mediante probabilidades de chegada de PIs e PEs no nível base.....	114
Tabela 4.6: Estatísticas descritivas para o custo total das políticas, considerando dois tipos de <i>overbooking</i> , dois níveis de recursos extras e três níveis de custos, mediante probabilidades de chegada de PIs e PEs no nível baixo.....	115

Tabela 4.7: Estatísticas descritivas para o custo total das políticas, considerando dois tipos de <i>overbooking</i> , dois níveis de recursos extras e três níveis de custos, mediante probabilidades de chegada de PIs e PEs no nível alto	116
Tabela 4.8: Número de PIs e PAs não atendidos para cada política e diferentes cenários.....	117
Tabela 4.9: Características individuais dos pacientes e dos agendamentos	128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADP - Approximate Dynamic Programming

AUC - Area Under the Curve

DIU - Dispositivo Intrauterino

DP - Desvio Padrão

FP - Falso Positivo

FN - Falso Negativo

FCFS - First Come First Served

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IoT - Internet-of-Things

LASSO - Least Absolute Shrinkage and Selection Operator

MDP - Markov Decision Process

MSE - Mean Squared Error

OMS - Organização Mundial da Saúde

PD - Programação Dinâmica

PIB - Produto Interno Bruto

PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

RMI - Ressonância Magnética por Imagem

ROC - Receiver Operator Characteristic

SMS - Short Text Messages

SUS - Sistema Único de Saúde

TC - Tomografia Computadorizada

VN - Verdadeiros Negativo

VP - Verdadeiro Positivo

VPN - Valor Preditivo Negativo

VPP - Valor Preditivo Positivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA E OBJETIVOS.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS.....	16
1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO.....	18
1.3.1 Método de Pesquisa.....	18
1.3.2 Método de Trabalho	18
1.4 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	21
1.5 ESTRUTURA DA TESE.....	21
1.6 REFERÊNCIAS.....	22
2 ARTIGO 1 – REVISÃO DOS MÉTODOS DE INTERVENÇÃO PARA REDUZIR O NO-SHOW DOS PACIENTES ÀS CONSULTAS E EXAMES MÉDICOS.....	22
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 MÉTODO.....	27
2.2.1 Coleta de dados.....	28
2.2.2 Seleção de estudos.....	29
2.2.3 Análise de dados.....	29
2.3 RESULTADOS.....	30
2.3.1 Características da pesquisa bibliográfica.....	30
2.3.2 Métodos de intervenção.....	34
2.4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	43
2.5 REFERÊNCIAS.....	46
2.6 APÊNDICE A2	54
3 ARTIGO 2 - MODELAGEM DO NO-SHOW DOS PACIENTES AOS EXAMES AGENDADOS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA	62
3.1 INTRODUÇÃO	62
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	64
3.2.1 Dados, amostra e variáveis preditoras	64
3.2.2 Análises estatísticas	66
3.3 RESULTADOS.....	68
3.4 DISCUSSÃO	75
3.5 CONCLUSÃO	79
3.6 REFERÊNCIAS.....	79
3.7 APÊNDICE A3	82
3.7.1 Análises gráficas da natureza matemática entre variáveis preditivas contínuas e o <i>no-show</i>	82
3.8 APÊNDICE B3	86
3.8.1 Aplicação prática do modelo de previsão de <i>no-show</i> aos exames TC.....	86

4	ARTIGO 3 - ALOCAÇÃO DINÂMICA DA CAPACIDADE EM UM SERVIÇO DE RADIOLOGIA CONSIDERANDO DIFERENTES TIPOS DE PACIENTES, PROBABILIDADES INDIVIDUAIS DE <i>NO-SHOW</i> E <i>OVERBOOKING</i>	88
4.1	INTRODUÇÃO	89
4.2	REVISÃO DA LITERATURA	91
4.3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA, NOTAÇÃO E PREMISSAS.....	97
4.4	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DINÂMICA DE CAPACIDADE COMO UM MDP	100
4.4.1	Estágios de decisão.....	101
4.4.2	Conjuntos de estados possíveis	101
4.4.3	Conjunto de ações viáveis	103
4.4.4	Probabilidades de transição	104
4.4.5	Custos imediatos.....	106
4.4.6	Função de valor do MDP/Equação de Bellman (V)	107
4.5	INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL	109
4.5.1	Características operacionais da unidade estudada.....	109
4.5.2	Parâmetros e caso base	109
4.5.3	Probabilidades de <i>no-show</i> dos pacientes ambulatoriais.....	110
4.5.4	Regras de <i>overbooking</i>	111
4.5.5	Políticas alternativas.....	112
4.5.6	Experimentos computacionais.....	112
4.6	RESULTADOS.....	113
4.7	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	119
4.8	REFERÊNCIAS.....	122
4.9	APÊNDICE A4.....	125
4.9.1	Conjunto de estados possíveis para períodos de serviço regulares i	125
4.9.2	Conjunto de estados possíveis para períodos de serviço extras k	126
4.10	APÊNDICE B4.....	128
4.10.1	Demonstração dos cálculos das probabilidades de <i>no-show</i> e da probabilidade de transição para pacientes ambulatoriais	128
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
5.1	CONCLUSÕES	132
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	134

1 INTRODUÇÃO

Os departamentos de radiologia são constituídos por instalações multifuncionais de diagnóstico que prestam serviços a diversos tipos de pacientes e são consideradas como recursos escassos nas unidades hospitalares (XIAO; ZHU, 2016).

Nos últimos anos, tem-se observado a crescente demanda por serviços de saúde no Sistema Único de Saúde (SUS) brasileiro, incluindo os de diagnósticos por imagem. Por outro lado, os investimentos públicos não têm sido suficientes para garantir o equilíbrio entre oferta e demanda pelos recursos hospitalares, o que é agravado ainda pelas ineficiências de gestão (BELTRAME et al., 2019).

Além disso, tem-se o *no-show* (não comparecimento) dos pacientes, que contribui para a redução da eficiência das operações dos serviços de radiologia e é considerado um problema global na assistência à saúde, tanto na esfera pública quanto privada. Um estudo de revisão de literatura publicado recentemente mostrou que as taxas de *no-show* variam entre os continentes da seguinte forma: África (43,0%), América do Sul (27,8%) Ásia (25,1%), América do Norte (23,5%), Europa (19,3%) e Oceania (13,2%) (DANTAS et al., 2018). No sistema público de saúde brasileiro essas taxas são superiores a 25%, com percentuais elevados em diversos tipos de atendimento e especialidades médicas (BELTRAME et al., 2019).

O *no-show* traz diversos impactos negativos para os sistemas de saúde e seus usuários, dentre os quais se destacam: (i) aumento do tempo de espera e de demandas por serviços de urgência (BENDER; MOLINA; MELLO, 2010; GONÇALVES et al., 2015); (ii) perda de eficiência e redução da produtividade (GIUNTA et al., 2013); e (iii) desperdícios dos recursos públicos (ELLIS; JENKINS, 2012). Consequentemente, tem-se a inviabilização do acesso dos pacientes e aumento dos custos (DANTAS et al., 2019), assim como atrasos nos diagnósticos e nos encaminhamentos para o tratamento adequado dos pacientes (GUROL-URGANCI et al., 2013).

Com o intuito de mitigar os efeitos desse fenômeno, diversos mecanismos administrativos como cartões postais, lembretes por e-mail, telefonemas e envios de lembretes por mensagem de texto (SMS, do inglês *Short Text Messages*) têm sido utilizados (ROBINSON; CHEN, 2010). O *overbooking* tem sido outra estratégia usada para a redução dos impactos negativos do *no-show*. O *overbooking* ocorre quando dois ou mais pacientes são agendados para o mesmo horário (HUANG; HANAUER, 2016). Esta estratégia vem sendo utilizada para melhorar o acesso e estabilizar a receita das unidades de saúde quando há grande

variabilidade nos sistemas de agendamento, ou seja, quando as possibilidades de *no-show* são elevadas (MUTHURAMAN; LAWLEY, 2008).

A alocação eficiente das capacidades disponíveis para atendimento dos pacientes é um problema inerente à gestão de operações em serviços de radiologia, sendo considerada uma das atividades mais importantes para o gerenciamento dos recursos. Entretanto, esse é um problema complexo devido as fontes de incertezas existentes nas próprias características das instalações de radiologia, incluindo o *no-show*. Nesses ambientes, os diversos tipos de paciente chegam de forma aleatória, com diferentes níveis de prioridade, tipos de receitas e custos que impactam diretamente na decisão sobre qual a melhor forma de alocar os recursos para atendê-los.

Dada a complexidade do problema, se torna inviável a modelagem da dinâmica do sistema e sua solução sob a perspectiva de abordagens simples e/ou intuitivas. Para isso é necessário o uso de modelos matemáticos, como o que é apresentado nesta tese, para encontrar soluções que permitam se aproximar de um objetivo previamente determinado. Isso se deve ao fato que há diferentes opções para alocação dos recursos destinados ao atendimento dos pacientes.

Deste modo, a abordagem dessa problemática por uma estrutura matemática pode resultar em benefícios operacionais, clínicos e econômicos de maneira significativa para os sistemas de saúde, garantindo o acesso oportuno dos pacientes aos cuidados com a saúde ao mesmo tempo em que se busca reduzir os custos ou melhorar qualquer outro indicador de desempenho que possa ser considerado (SAURÉ; BEGEN; PATRICK, 2019).

Alguns autores se dedicaram a elaborar modelos matemáticos para o problema de alocação de capacidade aplicados ao contexto das instalações de diagnósticos por imagem (GENG et al., 2017; GENG; XIE, 2016; GOÇGUN et al., 2011; GREEN; SAVIN; WANG, 2006; KOLISCH; SICKINGER, 2008; PATRICK; PUTERMAN; QUEYRANNE, 2008; SCHÜTZ; KOLISCH, 2013, 2012; XIAO; ZHU, 2016). Nesta tese, foi proposto um modelo que incorporou dois fatores que ainda não haviam sido considerados pelos trabalhos anteriores, sendo eles: (i) obtenção de probabilidades de *no-show* para cada paciente ambulatorial agendado para exames de tomografia computadorizada (TC) levando em conta as suas características individuais e dos agendamentos; e (ii) realização de uma abordagem matemática com múltiplos recursos que apresentam diferentes capacidades de atendimento.

Diante desse contexto, esta tese foi desenvolvida norteada pelas seguintes questões de pesquisa: (i) quais são as principais práticas e/ou estratégias utilizadas nos ambientes de saúde para diminuir as taxas de *no-show* de pacientes ambulatoriais? (ii) quais são os fatores

associados ao *no-show* de pacientes ambulatoriais e como eles podem ser considerados para desenvolver um modelo preditivo de *no-show* em um departamento de radiologia? (iii) quais são as implicações de se considerar as probabilidades individuais de *no-show* e múltiplos recursos com diferentes capacidades de atendimento em um modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade? A presente tese busca realizar um aprofundamento do estudo dessas questões de pesquisa e propor um modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade a ser aplicado através de estudo de caso com dados reais do departamento de radiologia de um grande hospital público brasileiro.

1.1 TEMA E OBJETIVOS

Esta tese tem como tema principal a abordagem matemática de um problema de alocação de capacidade. Mais especificamente, considera a formulação matemática desse problema em serviços de radiologia a partir de uma estrutura do Processo de Decisão de Markov.

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade considerando múltiplos recursos, vários tipos de pacientes, modelagem de *no-show* e *overbooking*. Para atingir o objetivo geral desta tese, foram listados os seguintes objetivos específicos:

- (i) Identificar a partir de uma revisão sistemática da literatura os principais métodos de intervenção que foram utilizados para reduzir as taxas de *no-show* nos sistemas de saúde;
- (ii) Desenvolver um modelo preditivo de *no-show* de pacientes ambulatoriais em exames futuros de TC, a partir dos fatores associados significativamente a este fenômeno; e
- (iii) Estruturar um modelo matemático como um MDP de horizonte finito de tempos discretos para alocar a capacidade de atendimento disponível.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E OBJETIVOS

A justificativa do tema e objetivos desta tese está relacionada aos campos teórico e prático. Dado que os recursos hospitalares são escassos e a demanda tem sido cada vez mais crescente, a abordagem do problema de alocação dinâmica da capacidade tem despertado o interesse de muitos pesquisadores nos últimos tempos. Os estudos têm sido voltados para os

mais diversos setores, tais como unidades de radioterapia (SAURÉ et al., 2012), centros cirúrgicos (ASTARAKY; PATRICK, 2015), clínicas ambulatoriais (LI; WANG; FUNG, 2018; SAURÉ; BEGEN; PATRICK, 2019; SU; WAN; WANG, 2019) e instalações de exames de diagnósticos clínicos (JAIN; MOHAN, 2018), dentre outros.

Do ponto de vista acadêmico, a elaboração desta tese se justifica porque servirá de base para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados ao problema de alocação da capacidade de atendimento aplicados ao contexto das operações hospitalares, mais especificamente, aos serviços de diagnósticos por imagem. Isso se deve ao fato que nesta tese são considerados alguns fatores que permitem retratar mais de perto a realidade de muitas instalações, contemplando lacunas teóricas deixadas pelos trabalhos que foram publicados anteriormente. Além disso, são apresentados direcionamentos para pesquisas futuras que permitirão aprofundar ainda mais as discussões relacionadas ao tema abordado.

Por outro lado, é de conhecimento que as unidades públicas de saúde no Brasil desempenham um papel de fundamental importância para promover o acesso da população aos cuidados com a saúde. Isso se deve ao fato de que o Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil está fundamentado sobre os princípios de universalidade de acesso, integralidade, equidade, regionalização, hierarquização e participação social. Entretanto, tem-se percebido que os investimentos públicos na saúde não têm sido suficientes para ampliar a capacidade de atendimento aos usuários do sistema.

Este cenário tem se agravado, principalmente, a partir de 2016, quando foi implementado no Brasil o ajuste fiscal, que pode gerar a redução da participação do estado brasileiro na oferta de bens e serviços à população, através da redução dos gastos. Isso poderá criar um cenário de redução das despesas primárias no Produto Interno Bruto (PIB) de aproximadamente 20%, no ano de 2016, para 16% a 12% do PIB até 2026 (VIEIRA; E BENEVIDES, 2016).

Assim, do ponto de vista prático, esta tese se justificativa porque a sua aplicação é validada através de um estudo de caso em uma instalação de diagnósticos por imagem de um grande hospital público brasileiro. O modelo matemático proposto permite auxiliar no processo de tomada de decisões eficientes para alocação dos recursos escassos de radiologia, considerando as particularidades existentes na instalação estudada. Isso é de fundamental importância diante da realidade de demanda crescente e baixo investimento público para ampliação da capacidade de atendimento, pois com a utilização do modelo apresentado é possível melhorar os índices de atendimento aos usuários.

1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Esta seção estabelece o delineamento da pesquisa, representando os meios pelos quais os objetivos foram alcançados. São apresentados os métodos de pesquisa e de trabalho que foram utilizados.

1.3.1 Método de Pesquisa

Do ponto de vista da sua natureza, esta tese se caracteriza como uma pesquisa aplicada que, segundo Prodanov e Freitas (2013), busca construir conhecimentos voltados para soluções práticas na resolução de problemas particulares, envolvendo verdades e interesses locais.

Quanto a abordagem utilizada, a pesquisa é classificada como quantitativa, consistindo em um tipo de pesquisa que procura atuar sobre um determinado problema, baseando-se na avaliação de uma teoria e que é composta por variáveis que são quantificadas em números para que possam ser analisadas de forma estatística. O objetivo é constatar se as generalizações previstas na abordagem teórica se sustentam ou não (KNECHTEL, 2014).

Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, que procura apresentar informações detalhadas em relação ao tema abordado, facilitar a sua delimitação, definir seus objetivos, formular as hipóteses do trabalho ou até mesmo descobrir um novo direcionamento para o estudo realizado. De modo geral, esse tipo de pesquisa assume o formato de pesquisas bibliográficas e estudo de caso (GIL, 2017).

Quanto aos procedimentos utilizados, a pesquisa é caracterizada como um estudo de caso. De acordo com Gil (2017), o estudo de caso tem como característica a busca detalhada e de forma profunda de um ou poucos objetos, possibilitando o seu amplo e detalhado conhecimento. O modelo proposto foi validado através de um estudo de caso em departamento de radiologia brasileiro.

1.3.2 Método de Trabalho

Com o intuito de alcançar o objetivo geral proposto, esta tese foi desenvolvida por meio de três etapas, de modo que cada uma delas está associada a um objetivo específico e é representada pela elaboração de um artigo. A Tabela 1.1 apresenta a estrutura das etapas desenvolvidas na presente pesquisa.

Tabela 1.1: Estrutura das etapas desenvolvidas

Estudos	Objetivos	Questões de Pesquisa	Revisão Teórica	Métodos de Pesquisa
Artigo 1 ^(a)	Identificar a partir de uma revisão sistemática da literatura os principais métodos de intervenção que foram utilizados para mitigar os impactos negativos do <i>no-show</i> nos sistemas de saúde	Quais são as principais práticas e/ou estratégias utilizadas nos ambientes de saúde para diminuir as taxas de <i>no-show</i> de pacientes ambulatoriais?	1. Métodos de intervenção para reduzir taxas de <i>no-show</i> em ambientes de saúde	Pesquisa qualitativa: 1. Revisão sistemática da literatura
Artigo 2 ^(b)	Desenvolver um modelo preditivo de <i>no-show</i> de pacientes ambulatoriais em exames futuros de TC, a partir dos fatores associados significativamente a este fenômeno	Quais são os fatores associados ao <i>no-show</i> de pacientes ambulatoriais e como eles podem ser considerados para desenvolver um modelo preditivo de <i>no-show</i> em um departamento de radiologia?	1. Fatores associados ao <i>no-show</i> de pacientes ambulatoriais 2. Modelos de regressão logística	Pesquisa quantitativa: 1. Estatísticas descritivas 2. Técnicas de regressão 3. Métricas para modelos de classificação 4. Análise por estudo de caso
Artigo 3 ^(c)	Estruturar um modelo matemático como um MDP de horizonte finito de tempos discretos para alocar a capacidade de atendimento disponível	Quais são as implicações de se considerar as probabilidades individuais de <i>no-show</i> e múltiplos recursos com diferentes capacidades de atendimento em um modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade?	1. Processo de Decisão de Markov (MDP) para alocação dinâmica da capacidade	Pesquisa quantitativa: 1. Validação do modelo proposto através de estudo de caso

^(a) Artigo submetido ao periódico BMC Health Services Research

^(b) Artigo submetido ao periódico The International Journal of Health Planning and Management

^(c) Artigo publicado no periódico BMC Health Services Research

O Artigo 1 – “Revisão dos métodos de intervenção para reduzir o *no-show* dos pacientes às consultas e exames médicos” – busca, a partir de uma revisão sistemática da literatura, identificar os métodos de intervenção que foram reportados para reduzir taxas de *no-show* no processo de agendamento de pacientes. Por meio de pesquisa e seleção de artigos relacionados ao tema, os métodos foram identificados, classificados e descritos. O artigo apresenta uma contribuição original ao apresentar a evolução do estado da arte sem limitar os métodos de intervenção e especialidades médicas e inova ao identificar 8 novos métodos de intervenção, a saber: (i) orientação/educação do paciente; (ii) melhorias no processo de agendamento de pacientes; (iii) política de agendamento; (iv) atendimento remoto; (v) penalidade; (vi) visita

domiciliar; (vii) serviço de apoio ao paciente; e, (viii) múltiplas iniciativas. Deste modo, as conclusões do artigo são úteis para os gestores dos ambientes de saúde realizarem o planejamento de intervenções mais apropriadas às suas realidades e para pesquisadores que buscam explorar os métodos de intervenção, pois permite realizar consultas de maneira rápida e detalhada dos artigos que foram publicados anteriormente na literatura.

O Artigo 2 – “Modelagem do *no-show* dos pacientes aos exames agendados de tomografia computadorizada” – busca avaliar os fatores associados ao *no-show* de pacientes ambulatoriais e desenvolver um modelo preditivo de *no-show* aos exames de TC em um departamento de radiologia de um grande hospital público brasileiro. Para isso, foi realizado um estudo retrospectivo dos agendamentos realizados para esse tipo de exame entre janeiro e dezembro de 2017. Os modelos de regressão logística penalizada por LASSO (*Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*) e regressão logística multivariada foram considerados para avaliar a influência de 15 variáveis preditoras sobre o *no-show*, das quais uma delas (número de exames agendados no ano anterior) não foi relacionada anteriormente na literatura. O modelo de regressão logística penalizada foi selecionado pelo critério de parcimônia, com 8 das 15 variáveis analisadas parecendo como significativas. Como resultado deste artigo, obteve-se um modelo que permite calcular as probabilidades de *no-show* de cada paciente ambulatorial agendado para um exame futuro de TC, sendo considerado como um parâmetro de entrada para o modelo matemático de alocação dinâmica da capacidade proposto no terceiro artigo.

O Artigo 3 – “Alocação dinâmica da capacidade em um serviço de radiologia considerando diferentes tipos de pacientes, probabilidades individuais de *no-show* e *overbooking*” – propõe a formulação de um modelo matemático baseando-se na estrutura de um MDP de horizonte finito para alocação da capacidade destinada ao atendimento de vários tipos de paciente e que é resolvido com uma abordagem tradicional de programação dinâmica. O artigo é uma extensão de um modelo apresentado na literatura e tem como características exclusivas a consideração de múltiplos recursos com capacidades diferentes de atendimento e probabilidades de *no-show* calculadas para cada paciente ambulatorial agendado para exames de TC. As regras de *overbooking* foram consideradas neste artigo para mitigar os impactos negativos do *no-show*. O modelo foi validado através de um estudo de caso no departamento de radiologia de um grande hospital público brasileiro e foram fornecidas diretrizes para a sua utilização.

Cabe ressaltar que, apesar do Artigo 1 abordar a problemática do *no-show* em todas as especialidades médicas, atenção especial foi dada ao tema apenas em serviços de radiologia nos

Artigos 2 e 3, pois esses departamentos apresentam papéis de grande importância para as unidades hospitalares e são considerados recursos caros e escassos, principalmente, no serviço público de saúde brasileiro. Assim, propor abordagens para melhorar o desempenho desses serviços, como as que foram usadas no segundo e terceiro artigos, são muito relevantes também para o bom funcionamento de outros setores, tais como clínicas ambulatoriais e departamentos de emergência e internação. Isto, porque, os exames radiológicos são usados para diagnósticos de problemas de saúde e orientam os profissionais médicos na tomada de decisões para obter bons resultados terapêuticos no tratamento dos pacientes.

1.4 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Esta tese tem incidência sobre as descobertas de fatores relacionados ao *no-show* de pacientes e o desenvolvimento de um modelo preditivo considerando apenas modelos de regressão logística penalizada e multivariada (tradicional). Quaisquer outras técnicas que possam ser utilizadas para identificar os preditores associados ao *no-show* e que usam uma estrutura diferente dos modelos analisados nesta pesquisa foram desconsideradas.

Da mesma forma, o modelo matemático apresentado foi formulado tomando como base uma estrutura do Processo de Decisão de Markov e solucionado através de uma abordagem de programação dinâmica tradicional. Assim, outros tipos de estruturas para formulação do problema e para a sua solução como, por exemplo, Programação Dinâmica Aproximada (ADP, do inglês *Approximate Dynamic Programming*), não foram considerados na presente pesquisa. Além disso, outras métricas adicionais de desempenho para avaliação do modelo proposto não foram contempladas na realização deste estudo.

Em relação à abrangência, o modelo matemático é delimitado para alocação dinâmica da capacidade aplicada ao contexto da área da saúde, mais especificamente, para os serviços de radiologia. A aplicação em um conceito mais amplo, voltado para outros tipos de serviços ou instalações industriais, não está contemplada no escopo desta tese, podendo ser objeto de pesquisas futuras.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em cinco capítulos. Nesse primeiro capítulo, foram apresentadas a introdução, tema e objetivos, justificativas para os campos teórico e prático,

delineamento do estudo com métodos de pesquisa e de trabalho, delimitações e estrutura da tese. Do segundo ao quarto capítulo são apresentados os artigos que contemplam as etapas de desenvolvimento propostas para atingir os objetivos estabelecidos. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões da tese, evidenciando os principais achados da pesquisa e direcionamentos para pesquisas futuras.

1.6 REFERÊNCIAS

ASTARAKY, D.; PATRICK, J. A simulation based approximate dynamic programming approach to multi-class, multi-resource surgical scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 245, n. 1, p. 309–319, 2015.

BELTRAME, S. M. et al. Absenteísmo de usuários como fator de desperdício: desafio para sustentabilidade em sistema universal de saúde. **Saúde em Debate**, v. 43, n. 123, p. 1015–1030, 2019.

BENDER, A. S.; MOLINA, L. R.; MELLO, A. L. S. F. Absenteísmo na atenção secundária e suas implicações na atenção básica. **Espaç. saúde (Online)**, v. 11, n. 2, p. 56–65, 2010.

DANTAS, L. F. et al. No-shows in appointment scheduling - a systematic literature review. **Health Policy**, 2018.

DANTAS, L. F. et al. Predicting Patient No-show Behavior: a Study in a Bariatric Clinic. **Obesity Surgery**, v. 29, n. 1, p. 40–47, 2019.

ELLIS, D. A.; JENKINS, R. Weekday affects attendance rate for medical appointments: large-scale data analysis and implications. **PLoS ONE**, v. 7, n. 12, 2012.

GENG, N. et al. Optimal patient assignment for W queueing network in a diagnostic facility setting. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 19, p. 5609–5631, 2017.

GENG, N.; XIE, X. Optimal dynamic outpatient scheduling for a diagnostic facility with two waiting time targets. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 61, n. 12, p. 3725–3739, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIUNTA, D. et al. Factors associated with nonattendance at clinical medicine scheduled outpatient appointments in a university general hospital. **Patient Preference and Adherence**, v. 7, p. 1163–1170, 2013.

GOÇGUN, Y. et al. A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 53, n. 2, p. 73–81, 2011.

GONÇALVES, C. Â. et al. Estratégias para o enfrentamento do absenteísmo em consultas odontológicas nas Unidades de Saúde da Família de um município de grande porte: uma

pesquisa-ação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 20, n. 2, p. 449–460, 2015.

GREEN, L. V.; SAVIN, S.; WANG, B. Managing patient service in a diagnostic medical facility. **Operations Research**, v. 54, n. 1, p. 11–25, 2006.

GUROL-URGANCI, I. et al. **Mobile phone messaging reminders for attendance at healthcare appointments** *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley and Sons Ltd, 2013.

HUANG, Y.-L.; HANAUER, D. A. Time dependent patient no-show predictive modelling development. **International Journal of Health Care Quality Assurance**, v. 29, n. 4, p. 475–488, 2016.

JAIN, V.; MOHAN, U. A simulation-based neighbourhood search algorithm to schedule multi-category patients at a multi-facility health care diagnostic centre. **Health Systems**, v. 7, n. 3, p. 212–229, 2018.

KNECHTEL, M. DO R. **Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2014.

KOLISCH, R.; SICKINGER, S. Providing radiology health care services to stochastic demand of different customer classes. **OR Spectrum**, v. 30, n. 2, p. 375–395, 2008.

LI, X.; WANG, J.; FUNG, R. Y. K. Approximate dynamic programming approaches for appointment scheduling with patient preferences. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 85, p. 16–25, 2018.

MUTHURAMAN, K.; LAWLEY, M. A stochastic overbooking model for outpatient clinical scheduling with no-shows. **IIE Transactions**, v. 40, n. 9, p. 820–837, 2008.

PATRICK, J.; PUTERMAN, M. L.; QUEYRANNE, M. Dynamic multipriority patient scheduling for a diagnostic resource. **Operations Research**, v. 56, n. 6, p. 1507–1525, 2008.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo-RS: Feevale, 2013.

ROBINSON, L. W.; CHEN, R. R. A comparison of traditional and open-access policies for appointment scheduling. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 12, p. 330–346, 2010.

SAURÉ, A. et al. Dynamic multi-appointment patient scheduling for radiation therapy. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, p. 573–584, 2012.

SAURÉ, A.; BEGEN, M. A.; PATRICK, J. Dynamic multi-priority, multi-class patient scheduling with stochastic service times. **European Journal of Operational Research**, v. 280, n. 1, p. 254–265, 2019.

SCHÜTZ, H.-J.; KOLISCH, R. Approximate dynamic programming for capacity allocation in the service industry. **European Journal of Operational Research**, v. 218, n. 1, p. 239–250, 2012.

SCHÜTZ, H. J.; KOLISCH, R. Capacity allocation for demand of different customer-product-combinations with cancellations, no-shows, and overbooking when there is a sequential delivery of service. **Annals of Operations Research**, v. 206, n. 1, p. 401–423, 2013.

SU, H.; WAN, G.; WANG, S. Online scheduling for outpatient services with heterogeneous patients and physicians. **Journal of Combinatorial Optimization**, v. 37, n. 1, p. 123–149, 2019.

VIEIRA, F. S.; E BENEVIDES, R. P. D. S. O Direito à saúde no Brasil em Tempos de crise econômica, ajuste fiscal e reforma implícita do estado. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas**, v. 10, n. 3, p. 28, 2016.

XIAO, Y.; ZHU, Y. Value management of diagnostic equipment with cancelation, no-show, and emergency patients. **Naval Research Logistics**, v. 63, n. 4, p. 287–304, 2016.

**2 ARTIGO 1 – REVISÃO DOS MÉTODOS DE INTERVENÇÃO PARA REDUZIR O
NO-SHOW DOS PACIENTES ÀS CONSULTAS E EXAMES MÉDICOS**

Artigo submetido ao BMC Health Services Research

3 ARTIGO 2 - MODELAGEM DO *NO-SHOW* DOS PACIENTES AOS EXAMES AGENDADOS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Artigo submetido ao The International Journal of Health Planning and Management

4 ARTIGO 3 - ALOCAÇÃO DINÂMICA DA CAPACIDADE EM UM SERVIÇO DE RADIOLOGIA CONSIDERANDO DIFERENTES TIPOS DE PACIENTES, PROBABILIDADES INDIVIDUAIS DE *NO-SHOW* E *OVERBOOKING*

Artigo publicado no BMC Health Services Research 968 (2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões da tese e as recomendações para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Esta tese teve como objetivo geral propor um modelo matemático para alocação dinâmica da capacidade considerando múltiplos recursos, vários tipos de pacientes, modelagem de *no-show* e *overbooking*. O objetivo geral foi atingido com o encaminhamento de três objetivos específicos.

O primeiro objetivo específico estabelecido, identificar a partir de uma revisão sistemática da literatura as principais práticas e/ou estratégias que foram utilizadas para reduzir as taxas de *no-show* nos sistemas de saúde, foi encaminhado com a realização do Artigo 1.

O Artigo 1 buscou identificar novos métodos de intervenção que foram reportados para reduzir taxas de *no-show* no processo de agendamento de pacientes, a partir de uma revisão sistemática da literatura. Foram identificados 8 novos métodos de intervenção, sendo eles: (i) orientação/educação do paciente; (ii) sistema para agendamento de pacientes; (iii) política de agendamento; (iv) atendimento remoto; (v) penalidade; (vi) visita domiciliar; (vii) serviço de apoio ao paciente; e, (viii) múltiplas iniciativas.

Até onde se sabe, este é o primeiro artigo que não limita os métodos de intervenção e/ou especialidades médicas a serem analisados em uma revisão sistemática, diferentemente de outros estudos de revisão e meta-análise que foram publicados anteriormente. Isto possibilitou encontrar uma maior quantidade de métodos de intervenção e verificar os seus efeitos sobre as taxas de *no-show*, servindo de base para orientar os gestores dos ambientes de saúde no planejamento de intervenções mais apropriadas às suas realidades e para pesquisadores que buscam explorar os métodos de intervenção, permitindo realizar consultas de maneira rápida e detalhada dos artigos que foram publicados anteriormente na literatura.

O segundo objetivo específico, desenvolver um modelo preditivo de *no-show* de pacientes ambulatoriais em exames futuros de TC, a partir dos fatores associados significativamente a este fenômeno, foi encaminhado no Artigo 2.

O Artigo 2 procurou identificar os fatores associados ao *no-show* de pacientes ambulatoriais e desenvolver um modelo preditivo de *no-show* aos exames de TC em um departamento de

radiologia de um grande hospital público brasileiro. O estudo foi realizado através de um estudo retrospectivo dos agendamentos realizados para esse tipo de exame entre janeiro e dezembro de 2017. Dois modelos foram considerados para avaliar a influência de 15 variáveis preditoras sobre o *no-show*, sendo eles: regressão logística penalizada por LASSO (*Least Absolute Shrinkage and Selection Operator*) e regressão logística multivariada. Uma das 15 variáveis analisadas (número de exames agendados no ano anterior) não foi relacionada anteriormente na literatura e constitui uma contribuição original do trabalho. A análise de desempenho dos modelos preditivos revelou que ambos apresentaram a mesma capacidade preditiva, sendo o modelo de regressão logística penalizada selecionado pelo critério de parcimônia, com 8 das 15 variáveis analisadas resultando significativas. Como resultado deste artigo, obteve-se um modelo a partir do qual é possível calcular as probabilidades de *no-show* de cada paciente ambulatorial agendado para um exame futuro de TC. Este cálculo de probabilidade individual de *no-show* foi considerado como um parâmetro de entrada para o modelo matemático de alocação dinâmica da capacidade, proposto no Artigo 3.

Por fim, o último objetivo específico, estruturar um modelo matemático como um MDP de horizonte finito de tempos discretos para alocar a capacidade de atendimento disponível, foi encaminhado com a execução do Artigo 3.

O Artigo 3 apresentou a formulação de um modelo matemático baseando-se na estrutura de um MDP de horizonte finito para alocação da capacidade destinada ao atendimento de vários tipos de paciente e que é resolvido como uma abordagem tradicional de programação dinâmica. O artigo estendeu um modelo apresentado anteriormente na literatura e tem como características exclusivas a consideração de múltiplos recursos com capacidades diferentes de atendimento e probabilidades de *no-show* calculadas para cada paciente ambulatorial agendado para exames de TC. As regras de *overbooking* foram consideradas neste artigo para mitigar os impactos negativos do *no-show*. O modelo foi validado através de um estudo de caso no departamento de radiologia de um grande hospital público brasileiro e foram fornecidas diretrizes para a sua utilização.

Os resultados demonstraram que a política ótima apresentou o melhor desempenho (menor custo total diário) na maioria dos cenários analisados (212 de 216). As análises numéricas permitiram recomendar a utilização da política ótima de alocação de capacidade com regra de *overbooking* “duplo” e dois recursos disponíveis em períodos de horas extras. Uma política alternativa em que os pacientes ambulatoriais são priorizados para atendimento (ao invés de

pacientes internados) apresentou resultados mais próximos da política ótima, sendo também recomendada por sua fácil implementação.

Deste modo, o artigo contribui para auxiliar os gestores do departamento de radiologia no processo de tomada de decisão, pois com base na recomendação acima e ao observar o estado do sistema em qualquer período (representando o número de pacientes esperando pelo serviço), eles serão capazes de tomar uma decisão (ou seja, definir o número e tipo de pacientes) que deve ser selecionado para serviço de forma que o custo do sistema seja minimizado.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Pesquisas futuras podem ser desenvolvidas como extensões dos desenvolvimentos aqui propostos. São elas:

- a) Analisar o uso das informações fornecidas pelo modelo de previsão de *no-show* do artigo 2 para orientar a implementação de métodos de intervenção, tendo os pacientes com maior probabilidade de *no-show* prevista incluídos no grupo de intervenção. Por exemplo, para orientar o envio de lembretes por SMS aos pacientes no dia a dia de um serviço de radiologia, o modelo é capaz de recomendar o envio àqueles que apresentarem probabilidade de *no-show* maior que 49,34%, ao invés de todos os pacientes agendados para exames. Deste modo, os custos para realizar esse tipo de intervenção são reduzidos, tendo em vista que o envio de SMS geralmente não é gratuito. Essa mesma análise é válida para qualquer outra iniciativa que requer o emprego de recursos humanos, financeiros, dentre outros;
- b) Analisar o uso de outras técnicas para prever *no-shows* nos serviços de radiologia, tais como técnicas de mineração de texto e mineração de dados. Ao considerar técnica de mineração de dados, por exemplo, pode-se descobrir relações ocultas existentes entre as variáveis consideradas no conjunto de dados que não foram capturadas pelos modelos de regressão logística aplicados, permitindo assim, identificar padrões e gerar regras para prever e correlacionar os dados mais precisamente. Isso pode melhorar a predição dos *no-shows* e atingir maior confiança nesse processo;
- c) Analisar os impactos dos tempos de serviços estocásticos sobre a estrutura do modelo matemático proposto no artigo 3. Neste caso, diferentemente do modelo apresentado aqui, o tempo entre chegadas de pacientes é estocástico e o sistema evolui para o próximo estágio de decisão em

tempo contínuo, o que requer que o problema seja modelado com um MDP de tempo contínuo. Direcionamentos para esse tipo de abordagem podem ser encontrados no trabalho de Schütz e Kolisch (2012) e adaptados para o modelo proposto no Artigo 3;

d) Analisar a aplicação do modelo matemático em outros tipos de serviços hospitalares, tais como centros cirúrgicos, consultas ambulatoriais e tratamentos médicos (radioterapia, fisioterapia, dentre outros). Isso pode ser feito através da parametrização e adaptações das expressões matemáticas do modelo para contemplar as particularidades existentes nesses outros tipos de serviços; e

e) Identificar os métodos de intervenção para reduzir as taxas de *no-show* que foram aplicados ao contexto de tratamentos médicos e programas de imunização, dentre outros. Fazendo-se o uso do protocolo de buscas nas bases de dados que foi apresentado no Artigo 1, permite realizar o levantamento de trabalhos que reportaram métodos de intervenções nesses tipos de ambientes.