

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**MARCELO OLESKOVICZ**

**Sistemas de Agendamento em Serviços de Saúde Ambulatoriais: Uso da  
Heterogeneidade para Ganho de Desempenho**

**ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO CALDEIRA PEDROSO**

**SÃO PAULO  
2020**

Prof. Dr. Vahan Agopyan  
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fábio Frezatti  
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Júnior  
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Eduardo Kazuo Kayo  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

**MARCELO OLESKOVICZ**

**Sistemas de Agendamento em Serviços de Saúde Ambulatoriais: Uso da Heterogeneidade para Ganho de Desempenho**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Caldeira Pedroso

Versão Corrigida

(versão original disponível na Biblioteca da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade)

São Paulo

2020

Catálogo na Publicação (CIP)  
Ficha Catalográfica com dados inseridos pelo autor

Oleskovicz, Marcelo.

Sistemas de agendamento em serviços de saúde ambulatoriais: uso da heterogeneidade para ganho de desempenho / Marcelo Oleskovicz. - São Paulo, 2020.

133 p.

Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2020.  
Orientador: Marcelo Caldeira Pedroso.

1. Saúde. 2. Serviços de saúde. 3. Serviços de saúde ambulatoriais. 4. Sistemas de agendamento. 5. Simulação. I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

À Claudia e ao André, que com amor e compreensão me deram forças para esta conquista.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Marcelo Caldeira Pedroso, pela orientação e convívio durante este trabalho.

Aos professores e equipe do Departamento de Administração da Universidade de São Paulo que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para viabilizar a realização desta pesquisa.





## RESUMO

Sistemas de agendamento são a conexão entre eficiência e qualidade em serviços de saúde ambulatoriais. Vários sistemas de agendamento da literatura buscam equilibrar estes fatores e a heterogeneidade dos pacientes tem sido aplicada em seus modelos com o objetivo de ganho de desempenho. Para se obter este ganho, entretanto, são impostas restrições de horários para pacientes, reduzindo assim a sua flexibilidade de escolha, um importante componente da qualidade no atendimento. Composto de três artigos inter-relacionados, este estudo teve como objetivos a análise de modelos de sistema de agendamento de serviços de saúde ambulatoriais encontrados na literatura e o desenvolvimento de modelos com uso da heterogeneidade para ganho de desempenho, sem perda de flexibilidade na escolha de horários. Com base em lacunas identificadas no primeiro artigo, o qual consistiu em uma revisão sistemática da literatura acerca do tema, foram desenvolvidos dois sistemas de agendamento, para os quais foram conduzidas simulações de eventos discretos e medidos seus desempenhos. Para o sistema do segundo artigo, modelado como sequencial, foi desenvolvida uma heurística para recálculo de horários remanescentes a cada solicitação de agendamento, partindo de uma agenda inicial construída com modelos extraídos da literatura. Estes recálculos basearam-se na probabilidade de *no-show* dos pacientes, sendo este o fator de heterogeneidade adotado. Observou-se um ganho de desempenho em termos de custo total (*TC*) variando entre 0,46% e 5,94%, entre as médias dos 18 ambientes simulados, sendo que os menores custos foram obtidos nos cenários com menores relações entre custos do paciente e custos do servidor (*CR*), bem como menores coeficientes de variação dos tempos de serviço (*Cv*). Constatou-se, ainda, que a heurística proposta é mais eficiente quando pacientes com maior taxa de *no-show* predominam na sessão de atendimento. No modelo do terceiro artigo, também desenhado como sequencial, a heterogeneidade foi caracterizada por diferentes probabilidades de *no-show* associadas a períodos da sessão de atendimento. Aplicando-se regras de agendamento desenvolvidas para heterogeneidade de pacientes identificadas na literatura, observou-se melhora de desempenho em 54 dos 72 cenários, com ganho médio de *TC* variando de 0% a 9,54%. Constatou-se que este ganho cresce com o aumento da diferença entre as probabilidades de *no-show* dos períodos da sessão. Tanto no modelo do segundo artigo como no do terceiro foi adotada a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni como teste de significância. Entre as limitações, este estudo se restringiu a apenas uma parcela da ampla gama de combinações possíveis de fatores ambientais. Também pode ser destacado o uso de apenas uma variável, a probabilidade de *no-show*, como fator de heterogeneidade. Quanto a estudos futuros, este trabalho aponta direções para aprimoramento das heurísticas abordadas. Recomenda-se, também, estudos com uso da heterogeneidade associada a períodos da sessão para construção da agenda inicial do sistema com a heurística para recálculos, combinando-se, assim, os sistemas propostos em um modelo único.

**Palavras-Chave:** Saúde, Serviços de Saúde, Serviços de Saúde Ambulatoriais, Sistemas de Agendamento, Simulação.

## ABSTRACT

Appointment systems are the connection between efficiency and quality in outpatient health services. Several appointment systems in the literature seek to balance these factors and the heterogeneity of patients has been applied in their models with the objective of gaining performance. In order to obtain this gain, however, appointment time restrictions are imposed on patients, thus reducing their flexibility of choice, an important component of the quality of care. Composed of three interrelated articles, this study aimed to analyze outpatient appointment systems from literature and to develop models using heterogeneity for performance gain without losing flexibility in choosing appointment times. Based on gaps identified in the first article, which consisted of a systematic review of the literature on the topic, two appointment systems were developed, for which discrete event simulations were conducted and their performance was measured. For the system of the second article, modeled as sequential, a heuristic was developed to recalculate the remaining appointment times for each appointment request, starting from an initial schedule built with models extracted from the literature. These recalculations were based on the patients' no-show rate, this being the heterogeneity factor adopted. There was a performance gain in terms of total cost ( $TC$ ) varying between 0.46% and 5.94%, among the 18 environments simulated, with the lowest costs being obtained in scenarios with lower cost ratio of doctor's time to patients' time ( $CR$ ), as well as lower coefficients of variation in service times ( $Cv$ ). It was also found that the proposed heuristic is more efficient when patients with a higher no-show rate predominate in the clinic session. In the model of the third article, also designed as sequential, heterogeneity was characterized by different no-show probabilities associated with periods of the clinic session. Applying appointment rules developed for the heterogeneity of patients identified in the literature, an improvement in performance was observed in 54 of the 72 scenarios, with an average gain in  $TC$  ranging from 0% to 9.54%. It was observed that this gain grows with the increase in the difference between the no-show rates of the session periods. In the model of the second article as well as in the third, the analysis of repeated measures with Bonferroni correction was used as a test of significance. Among the limitations, this study was restricted to only a portion of the wide range of possible combinations of environmental factors. It can also be highlighted the use of only one variable, the probability of no-show, as a factor of heterogeneity. As for future studies, this work points out directions for improving the heuristics addressed. It is also recommended that studies use the heterogeneity associated with periods of the clinic session to build the initial schedule in the system with the heuristic for recalculations, thus combining both proposed systems in a single model.

**Key words:** Healthcare, Healthcare Services, Outpatient Health Services, Appointment Systems, Simulation.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Gestão de Capacidade em Saúde – Classificação.....	18
Quadro 1.2 – Componentes de um Sistema de Agendamento.....	19
Quadro 1.3 – Matriz de Amarração Metodológica.....	22
Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura .....	45
Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação) ..	46
Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação) ..	47
Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação) ..	48
Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação) ..	49
Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação) ..	50
Quadro 4.1 – Etapas de Modelagem, Simulação e Otimização .....	71
Quadro 5.1 – Comparativo entre estudo de Cayirli e Yang (2014) e esta pesquisa	100
Quadro 5.2 – Regras utilizadas no comparativo proposto .....	102
Quadro 5.3 – Regras de melhor desempenho para classificação em cada ambiente .....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Número de Estudos por Período .....	31
Tabela 4.1 – Fatores Ambientais.....	66
Tabela 4.2 – Impacto de PnS antes da aplicação da heurística proposta – Cv=0,6 e CR=1 .....	73
Tabela 4.3 – Impacto de PnS antes da aplicação da heurística proposta.....	74
Tabela 4.4 – Exemplo de ajuste dos horários de agendamento com aplicação da heurística proposta - Cv=0,8 e CR=50 .....	75
Tabela 4.5 – Resumo dos ganhos de TC.....	76
Tabela 4.6 – Variações dos indicadores de desempenho por faixa de PnS – Cv=0,4 e CR=1 .....	77
Tabela 4.7 – Efeitos dos componentes da heurística no TC .....	78
Tabela 4.8 – Efeito da posição da primeira solicitação de agendamento no TC – Cv=0,4 e CR=1 .....	78
Tabela 4.9 – Amplitude da variação de TC por ambiente .....	80
Tabela 4.10 – Coeficientes da Heurística Proposta .....	84
Tabela 4.11 – Variação dos Indicadores de Desempenho por Faixa de PnS .....	85
Tabela 5.1 – Estudos com Análise de No-Show por Período da Sessão de Atendimento.....	96
NI = não identificado.....	96
Tabela 5.2 – Fatores Ambientais do Experimento.....	97
Tabela 5.3 – Horários calculados com as regras utilizadas no comparativo proposto - Cv=0,4, Pn=15%, PnA=5%, PnB=25% e CR=2.....	103
Tabela 5.4 – Variação de TC com a classificação de períodos .....	104
Tabela 5.5 – Valores de TC para as regras sem classificação de períodos .....	110
Tabela 5.6 – Valores de TC para as regras com classificação de períodos .....	110

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura da Tese .....	25
Figura 3.1 – Fluxo do Processo de Seleção da Revisão Sistemática.....	30
Figura 4.1 – Efeito da posição da primeira solicitação de agendamento na redução de TC .....	79
Figura 6.1 – Conexão entre os artigos da tese .....	119

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Histograma de $PnS$ .....	72
Gráfico 5.1 – Ganho de TC em função de $PnA/PnB$ .....	106

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Objetivos da pesquisa .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>23</b>
<b>2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>25</b>
<b>3 SISTEMAS DE AGENDAMENTO EM SERVIÇOS DE SAÚDE AMBULATORIAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Método de pesquisa.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3 Fatores ambientais.....</b>	<b>31</b>
3.3.1 <i>Tipos de Agendamento.....</i>	<i>31</i>
3.3.2 <i>Número de Estágios .....</i>	<i>32</i>
3.3.3 <i>Número de Servidores.....</i>	<i>32</i>
3.3.4 <i>Número de Atendimentos por Sessão .....</i>	<i>33</i>
3.3.5 <i>Processo de Chegadas .....</i>	<i>33</i>
3.3.6 <i>Tempo de Serviço.....</i>	<i>35</i>
3.3.7 <i>Atrasos e Interrupções do Servidor .....</i>	<i>35</i>
<b>3.4 Indicadores de desempenho .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Desenvolvimento de um sistema de agendamento .....</b>	<b>37</b>
3.5.1 <i>Regras de Agendamento .....</i>	<i>37</i>
3.5.2 <i>Heterogeneidade e Classificação de Pacientes .....</i>	<i>39</i>
3.5.3 <i>Ajustes para No-shows e Walk-ins .....</i>	<i>41</i>
<b>3.6 Métodos de pesquisa em sistemas de agendamento ambulatoriais .....</b>	<b>42</b>
<b>3.7 Considerações finais .....</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>4 REGRAS DE AGENDAMENTO COM CLASSIFICAÇÃO DE PACIENTES: HEURÍSTICA PARA RECÁLCULO DE HORÁRIOS EM SISTEMAS DE AGENDAMENTO AMBULATORIAIS .....</b>	<b>59</b>

<b>4.1 Introdução .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2 Revisão de literatura .....</b>	<b>62</b>
<b>4.3 Método de pesquisa .....</b>	<b>65</b>
4.3.1 <i>Delineamento do Experimento</i> .....	65
4.3.2 <i>Avaliação de Desempenho</i> .....	67
4.3.3 <i>Teste de Significância</i> .....	68
4.3.4 <i>Heurística Proposta</i> .....	68
<b>4.4 Resultados .....</b>	<b>72</b>
4.4.1 <i>Impactos da Heterogeneidade no Cenário Base</i> .....	72
4.4.2 <i>Aplicação da Heurística Proposta</i> .....	75
<b>4.5 Considerações finais.....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE A – REGRA UNIVERSAL DOME .....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE B – COEFICIENTES DA HEURÍSTICA PROPOSTA .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE C – INDICADORES DE DESEMPENHO POR FAIXA DE PnS.....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>86</b>
<b>5 REGRAS DE AGENDAMENTO COM CLASSIFICAÇÃO DE PACIENTES EM SISTEMAS DE AGENDAMENTO AMBULATORIAIS: APLICAÇÃO EM CLASSIFICAÇÃO DE PERÍODOS DA SESSÃO DE ATENDIMENTO.....</b>	<b>90</b>
<b>5.1 Introdução .....</b>	<b>90</b>
<b>5.2 Revisão de literatura .....</b>	<b>92</b>
5.2.1 <i>Heterogeneidade e Classificação de Pacientes</i> .....	93
5.2.2 <i>No-Show e Classificação de Períodos</i> .....	95
<b>5.3 Método de pesquisa .....</b>	<b>96</b>
5.3.1 <i>Delineamento do Experimento</i> .....	96
5.3.2 <i>Avaliação de Desempenho</i> .....	97
5.3.3 <i>Teste de Significância</i> .....	98
5.3.4 <i>Aplicação de Regras de Agendamento para Classificação de Pacientes na Classificação de Períodos</i> .....	99
5.3.3.1 <i>Regras IBFI e IBFI PC</i> .....	100
5.3.3.2 <i>Regras 2BEG e 2BEG PC</i> .....	101
5.3.3.3 <i>Regras Dome e Dome PC</i> .....	101
<b>5.4 Resultados .....</b>	<b>102</b>



<b>5.5 Considerações finais .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE A – AJUSTES DE MÉDIA E VARIÂNCIA.....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE B – OBTENÇÃO DO FATOR K DAS REGRAS DOME E DOME PC ...</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE C – VALORES DE CUSTO TOTAL (TC).....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>111</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE.....</b>	<b>116</b>
<b>6.1 Conexão entre os artigos .....</b>	<b>119</b>
<b>6.2 Limitações.....</b>	<b>120</b>
<b>6.3 Proposições para Contribuições Futuras.....</b>	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Como consequência de recentes inovações, o setor de saúde tem empregado maior tecnologia e demandado profissionais cada vez mais especializados, implicando maiores custos de investimento e operação. Para a gestão de capacidade no setor, considerada por McDermott e Stock (2007) como uma importante questão política e social, isto representa um grande desafio, dado o contexto de escassez de recursos (GARG; MCCLEAN; BARTON; MEENAN; FULLERTON, 2012; REMIJN, 2018; KLASSEN; YOOGALINGAM, 2019). Além disso, o aumento da competição surge como um fator adicional na demanda por ganhos de eficiência (JEANG; CHIANG, 2012).

O aumento da taxa de ocupação de recursos, em especial os de maior custo, é uma das alternativas para se melhorar eficiência. Entretanto esta prática muitas vezes leva a limitações no acesso aos serviços e conseqüente perda na qualidade do atendimento (ASADUZZAMAN; CHAUSSALET; ROBERTSON, 2010). Conforme Remijn (2018), deficiências na gestão de capacidade podem causar impactos tanto físicos como psicológicos em pacientes.

Considerando-se a crescente exigência por qualidade (KLASSEN; YOOGALINGAM, 2019), buscar equilíbrio entre custos e nível de serviço torna-se uma tarefa cada vez mais importante e complexa (GARG; MCCLEAN; BARTON; MEENAN; FULLERTON, 2012; TAI; WILLIAMS, 2013; REMIJN, 2018; KUIPER; DE MAST; MANDJES, 2019). Contribuem para esta complexidade o dinamismo e as grandes flutuações de demanda do setor (GUPTA; NATARAJAN; GAFNI; WANG; SHILTON; HOLDER; YUSUF, 2007; NICHOLLS, 2016), além de incertezas e heterogeneidades (GARG; MCCLEAN; BARTON; MEENAN; FULLERTON, 2012; KUIPER; DE MAST; MANDJES, 2019). Mesmo quando capacidade e demanda estão equilibradas, deficiências no atendimento podem ocorrer em função de variabilidades de curto prazo (GUPTA; NATARAJAN; GAFNI; WANG; SHILTON; HOLDER; YUSUF, 2007; BOWERS, 2011).

Em meio a este cenário, tanto o aumento da população como seu envelhecimento trazem pressões adicionais para o setor (ROCHE; RIVERA; COCHRAN, 2012; RAU; TSAI; LIANG; TAN; SYU; JHENG; JAW, 2013). Ainda como fonte de crescimento da demanda, destaca-se uma maior conscientização quanto a cuidados com a saúde (KLASSEN; YOOGALINGAM, 2019).

Dentro deste contexto, a gestão da capacidade em serviços de saúde surge como um elemento importante na busca por equilíbrio entre eficiência e qualidade.

Smith-Daniels et al. (1988) estabeleceram uma segmentação para análise da gestão da capacidade em saúde, cruzando decisões de aquisição e alocação com instalações e mão-de-obra, ilustrada no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Gestão de Capacidade em Saúde – Classificação

	Instalações	Recursos Humanos
<b>Decisões de Aquisição</b>	Localização e dimensionamento de capacidade agregada Dimensionamento de unidades hospitalares Dimensionamento de unidades ambulatoriais	Equipes hospitalares Equipes ambulatoriais
<b>Decisões de Alocação</b>	Agendamento de internações Agendamento de unidades cirúrgicas Agendamento ambulatorial	Alocação em dias e turnos Alocação em unidades Alocação em atividades

Fonte: Smith-Daniels et al., (1988)

Com base na classificação acima, esta pesquisa se enquadra nas decisões de alocação em instalações. Mais precisamente, aborda os sistemas de agendamento de serviços.

Cayirli e Veral (2003) definem um **sistema de agendamento** com um conjunto de decisões dividido em três componentes. O primeiro componente consiste nas **regras de agendamento**, as quais definem o número de pacientes por bloco (horário) e o intervalo entre blocos. O segundo componente diz respeito à classificação de pacientes. Quando possível, muitos sistemas de agendamento buscam aprimorar o seu desempenho mediante sequenciamento e/ou ajuste de intervalos entre blocos conforme determinadas características dos pacientes. O último componente trata de ajustes para *no-shows* (pacientes que não comparecem para recebimento do serviço) e *walk-ins* (pacientes não agendados). Uma das formas de compensação nestes casos é o ajuste dos intervalos entre blocos, com redução para o caso de *no-shows* e aumento para *walk-ins*. Uma outra decisão envolve aplicação de *overbooking*, o qual consiste no agendamento de pacientes adicionais em um mesmo bloco para mitigação dos efeitos dos *no-shows*. Já para o caso de *walk-ins*, a compensação se dá mediante a reserva de horários específicos para acomodar pacientes não agendados. Estas

definições estão contempladas no Quadro 1.2 e serão adotadas ao longo deste trabalho.

Quadro 1.2 – Componentes de um Sistema de Agendamento

Componente	Decisões
Regras de Agendamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de pacientes por bloco</li> <li>• Intervalo entre blocos</li> </ul>
Classificação de Pacientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Divisão de pacientes em classes para definição de sequenciamento e/ou intervalo entre blocos</li> </ul>
Ajustes para <i>No-shows</i> e <i>Walk-ins</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste de intervalos entre blocos</li> <li>• <i>Overbooking</i> para compensação de <i>no-shows</i></li> <li>• Reserva de horários para <i>walk-ins</i></li> </ul>

Fonte: elaborado pelo autor (baseado em Cayirli e Veral (2003))

Conforme Hong et al. (2013), um agendamento eficiente é uma etapa crítica em direção à prestação de serviços com alta qualidade. Trata-se de um problema desafiador por várias razões, incluindo incertezas nos comparecimentos (ex.: atrasos e faltas), variabilidades nos tempos de atendimento, diferentes preferências de pacientes e profissionais e a presença de múltiplos critérios, por vezes conflitantes (ERDOGAN; DENTON, 2013; MORIKAWA; TAKAHASHI, 2017; XIAO; DONG; LI; SUN, 2017). Devido a estas incertezas, tempos de espera são inevitáveis (QI, 2016). Além dos custos de oportunidade para a sociedade, Deceuninck et al. (2018) destacam tanto o custo psicológico do paciente como o de reputação do prestador de serviços como consequências da espera por atendimento. Para os autores, sistemas de agendamento são a conexão entre a eficiência na utilização de recursos e a qualidade no atendimento.

Pedroso e Malik (2012), ao proporem um modelo de cadeia de valor para o sistema de saúde brasileiro, contemplam os ambientes onde os serviços de saúde podem ser realizados, conforme abaixo:

- Atendimento ambulatorial (ex. consultas, procedimentos ambulatoriais, exames de medicina diagnóstica);
- Atendimento hospitalar (ex. internações, cirurgias);
- Atendimento residencial (ex.: *home care*);
- atendimentos externos (ex.: programas de promoção de saúde em empresas ou instituições de educação física).

Devido às diferentes especificidades no atendimento, do ponto de vista de agendamento, a grande maioria das pesquisas acerca de sistemas de agendamento de serviços de saúde segmenta o tipo de paciente como ambulatorial ou internação. Para o primeiro tipo existem desafios como altas taxas de *no-shows* e atrasos, enquanto para o segundo o foco está no tempo de internação e no mix de serviços e recursos consumidos pelo paciente (SMITH-DANIELS; SCHWEIKHART; SMITH-DANIELS, 1988). Gupta e Denton (2008) e Choi e Banerjee (2016) fazem distinção entre agendamentos ambulatoriais e cirúrgicos, embora também mencionem casos de cirurgia em clínicas ambulatoriais. Destacam que, diferentemente de atendimentos ambulatoriais, nos casos de cirurgia os pacientes são admitidos antes da execução do serviço e permanecem após este, consumindo recursos.

Dadas estas diferenças, a maior parte da literatura sobre sistemas de agendamento em serviços de saúde foca atendimentos ambulatoriais ou internações, havendo poucas pesquisas abrangendo ambos os casos. O estudo de Hong et al. (2013), por exemplo, explora o uso de simulações direcionadas especificamente para atendimentos ambulatoriais. Da mesma forma, as revisões de literatura de Cayirli e Veral (2003) e Ahmadi-Javid et al. (2017) sobre sistemas de agendamento têm o mesmo foco. Com o objetivo de limitar sua extensão, o presente trabalho se restringe a sistemas de agendamento ambulatoriais.

Além de aspectos populacionais, a crescente conversão de internações em serviços ambulatoriais, movida em grande parte por novas tecnologias, tem impulsionado o aumento de demanda por este tipo de atendimento (BERG; DENTON; ERDOGAN; ROHLER; HUSCHKA, 2014; REHEL; WRIGHT; BARLOW, MCKEE, 2010; RIISE; MANNINO; LAMORGESE, 2016). Somando a falta de capacidade de atendimento desta natureza, Hong et al. (2013) mencionam clínicas lotadas, longas filas de espera e profissionais trabalhando em horas-extras. Destacam ainda a insatisfação dos clientes e o risco de desmotivação das equipes e perda de eficiência na utilização de recursos, atribuindo estes problemas não somente a este aumento da demanda, mas também à ineficiência de sistemas de agendamento de serviços ambulatoriais.

Desde o trabalho seminal de Bailey (1952), muitos estudos têm se dedicado a este tema e suas incertezas e complexidades ainda não permitiram o desenvolvimento

de sistemas de agendamento que cubram todos as variáveis comumente encontradas em contextos reais de serviços ambulatoriais (CAYIRLI; YANG, 2014).

Esta pesquisa segue o formato de três artigos e consiste em uma revisão sistemática de literatura sobre o tema, bem como dois artigos com modelagens quantitativas onde serão propostos sistemas de agendamento para serviços de saúde ambulatoriais.

## **1.1 Objetivos da pesquisa**

Na literatura revisada nesta pesquisa observa-se que a heterogeneidade dos pacientes é frequentemente utilizada para classificá-los, sendo que em muitos modelos esta classificação é aplicada para aprimorar sistemas de agendamento simultâneos, em que os horários são definidos pelo sistema após recebidas todas as solicitações de agendamento. Outra forma de uso da heterogeneidade ocorre em sistemas sequenciais, em que os horários são atribuídos aos pacientes à cada solicitação recebida. Nestes modelos o sistema define estes horários ou os pacientes os selecionam, porém, limitados a uma faixa de horários destinada à sua classe. Desta forma, constata-se que na grande maioria dos sistemas de agendamento o uso da heterogeneidade está associado a alguma perda na escolha de horários por parte do paciente.

Não foram identificados na revisão teórica sistemas de agendamento que explorem a heterogeneidade associada a períodos de uma sessão de atendimento, a qual poderia ser utilizada na construção da agenda, sem necessidade de se ter informações antecipadas sobre os pacientes. Outra oportunidade identificada na teoria diz respeito ao recálculo de horários em sistemas de agendamento do tipo sequencial. Sendo as características de um paciente conhecidas a cada novo agendamento, os horários remanescentes poderiam ser recalculados com base na heterogeneidade, de modo a melhorar o desempenho do sistema e, ao mesmo tempo, manter a flexibilidade na seleção de horários. Quando identificado este recálculo na literatura, observa-se que as premissas assumidas não são realistas.

Deste modo, este estudo tem como principal objetivo propor sistemas de agendamento de serviços de saúde ambulatoriais do tipo sequencial, com classificação de pacientes e períodos heterogêneos, sem restrições de horários para pacientes.

Como objetivos secundários, a pesquisa busca:

- Analisar modelos de sistema de agendamento encontrados na literatura; e
- Propor modelos para os contextos investigados, comparando seus desempenhos com modelos desenvolvidos para pacientes homogêneos.

Quadro 1.3 – Matriz de Amarração Metodológica

QUESTÕES DA PESQUISA		OBJETIVOS DA PESQUISA	METODOLOGIA	PRINCIPAIS PONTOS
Questão Principal	Questões Específicas			
Como obter ganho de desempenho em sistemas de agendamento sequenciais explorando a heterogeneidade de pacientes e períodos da sessão, mantendo a flexibilidade na escolha de horários?	Quais são os sistemas de agendamento para serviços ambulatoriais existentes na literatura e como podem ser classificados?	Analisar modelos de sistema de agendamento encontrados na literatura	Revisão Sistemática de Literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classificação de sistemas de agendamento</li> <li>• Abordagens vs. premissas</li> <li>• Heterogeneidade e classificação de pacientes</li> <li>• Flexibilidade de escolha de horários</li> <li>• Indicadores de desempenho</li> </ul>
	Como desenvolver um sistema de agendamento do tipo sequencial para pacientes heterogêneos, com horários pré-definidos e recalculados a cada agendamento, sem distinção de horários para classes de pacientes, obtendo desempenho superior aos modelos para pacientes homogêneos?	Propor modelos para os contextos investigados, comparando seus desempenhos com modelos desenvolvidos para pacientes homogêneos	Simulação com modelagem quantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de heurística para recálculo de horários</li> <li>• Delineamento de experimento com premissas realistas</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i></li> <li>• Comparativo de desempenho</li> </ul>
	Como a heterogeneidade associada a períodos da sessão de atendimento pode ser utilizada para obtenção de ganho de desempenho em um sistema de agendamento do tipo sequencial com horários pré-definidos, sem distinção de horários para classes de pacientes?	Propor modelos para os contextos investigados, comparando seus desempenhos com modelos desenvolvidos para pacientes homogêneos	Simulação com modelagem quantitativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleção de regras de agendamento para heterogeneidade</li> <li>• Delineamento de experimento com premissas realistas</li> <li>• Definição de <i>benchmark</i></li> <li>• Comparativo de desempenho</li> </ul>

Fonte: elaborado pelo autor

A pergunta de pesquisa principal formulada para este estudo é a seguinte:

- Como obter ganho de desempenho em sistemas de agendamento sequenciais explorando a heterogeneidade de pacientes e períodos da sessão, mantendo a flexibilidade na escolha de horários?

Esta pergunta de pesquisa pode ser desdobrada nas seguintes questões:

- Quais são os sistemas de agendamento para serviços ambulatoriais existentes na literatura e como ela os classifica?
- Como desenvolver um sistema de agendamento do tipo sequencial para pacientes heterogêneos, com horários pré-definidos e recalculados a cada agendamento, sem distinção de horários para classes de pacientes, obtendo desempenho superior aos modelos para pacientes homogêneos?



- Como a heterogeneidade associada a períodos da sessão de atendimento pode ser utilizada para obtenção de ganho de desempenho em um sistema de agendamento do tipo sequencial com horários pré-definidos, sem distinção de horários para classes de pacientes?

O Quadro 1.3 traz a matriz de amarração metodológica do estudo, a qual conecta perguntas de pesquisa, objetivos e métodos empregados.

## 1.2 Justificativa

A busca por meios de se melhorar o nível de serviço sem perda de receita dos prestadores tem tornado os sistemas de agendamento cada vez mais importantes em atendimentos ambulatoriais (LU; XIE; JIANG, 2018). Essa relevância se amplia à medida que fatores como a crescente ênfase em medicina preventiva e a conversão de internações em procedimentos ambulatoriais impulsionam a demanda por este tipo de atendimento (HONG; SHANG; ARUMUGAM; YUSUFF, 2013; RIISE; MANNINO; LAMORGESE, 2016).

Dada a maior competição no setor de saúde, não somente aspectos técnicos têm sido determinantes na escolha do prestador. A exigência de qualidade do atendimento tem surgido cada vez mais como um fator de decisão dos pacientes. Deste modo, sistemas de agendamento não devem priorizar custos em detrimento de uma qualidade de atendimento satisfatória (GUPTA; DENTON, 2008; DECEUNINCK; FIEMS; VUYST; 2018). Como parte desta qualidade de atendimento, a flexibilidade quanto a escolha tanto de horários de atendimento como profissionais é um importante componente na satisfação dos clientes (WANG; CHEN; XU, 2018).

Outro fator que merece destaque diz respeito ao impacto dos sistemas de agendamento em falhas de diagnóstico, uma vez que uma redução dos tempos de serviço para compensação de atrasos decorrentes de ineficiências do sistema pode reduzir a confiabilidade de resultados (OLIVEIRA; FONSECA; KOCH, 2011; WU; KHASAWNEH; YUE; CHU; GAO, 2014).

Quanto às abordagens de sistemas de agendamento, a sua complexidade torna modelos analíticos intratáveis em muitos casos, exigindo a simplificação de premissas. Deste modo, simulações ganham relevância por viabilizar cenários mais próximos da realidade, contemplando um maior número de variáveis e menores

restrições quanto a distribuições de probabilidade (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017; CAYIRLI; YANG; QUEK, 2012). Isto torna-se fundamental na medida em que os impactos práticos da teoria sobre sistemas de agendamento ainda são limitados (CAYIRLI; VERAL, 2003; AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017).

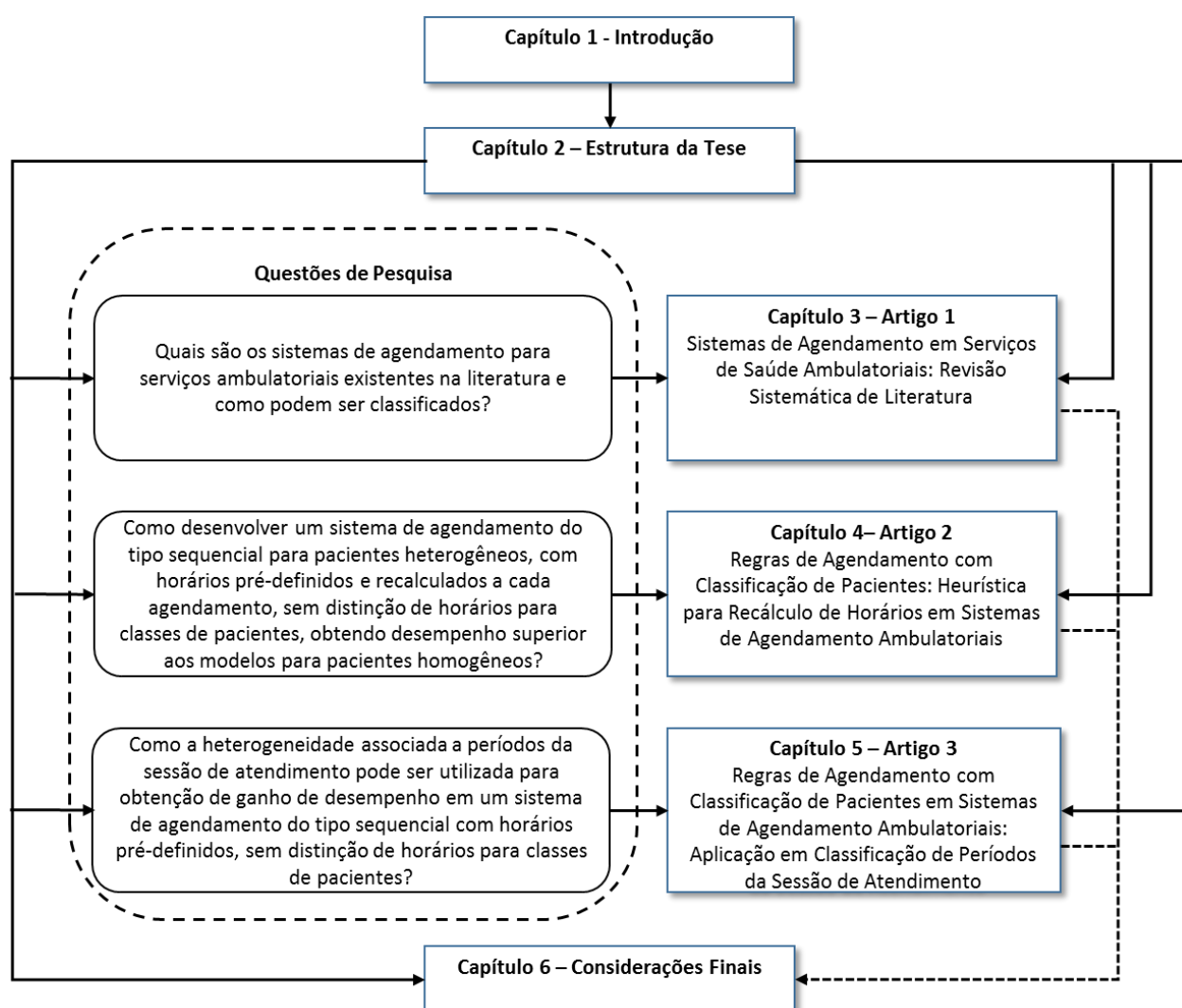
Vale ressaltar, ainda, a inexistência de regras de agendamento que atendam toda a gama de situações reais, havendo demanda para um maior aprofundamento (CAYIRLI; YANG, 2014).

Por último, cabe destacar a lacuna existente para maior uso de técnicas de administração de operações e métodos quantitativos, mais precisamente pesquisa operacional, na área de saúde (GUPTA; DENTON, 2008; DECEUNINCK; FIEMS; VUYST; 2018).

## 2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Adotando o formato de três artigos, esta pesquisa é composta de seis capítulos. Os Capítulos 1 e 2 trazem, respectivamente, uma introdução, abrangendo os objetivos e a justificativa do estudo, e a estrutura adotada para a tese. No Capítulo 3 é feita uma revisão sistemática da literatura sobre sistemas de agendamento de serviços ambulatoriais. O Capítulo 4 propõe um sistema de agendamento do tipo sequencial para pacientes heterogêneos, sem distinção de horários para classes de pacientes, com horários recalculados a cada agendamento. Seu desempenho é comparado a um modelo em que os horários não são recalculados. O Capítulo 5 contempla a proposta

Figura 2.1 – Estrutura da Tese



Fonte: elaborado pelo autor

de um sistema de agendamento do tipo sequencial com horários pré-definidos, também sem distinção de horários para classes de pacientes, e com heterogeneidade associada a estágios da sessão de atendimento. Seu desempenho é comparado a modelos em que os pacientes são considerados homogêneos. Estes três últimos capítulos seguem o formato de artigo científico, sendo que as propostas dos capítulos 4 e 5 são baseadas em lacunas identificadas na revisão sistemática de literatura e têm como método o uso de simulação com modelagem quantitativa. O sexto e último capítulo faz a conexão dos demais, abrangendo conclusões e limitações do trabalho. Contempla, ainda, oportunidades para estudos futuros, entre elas a fusão dos sistemas de agendamento propostos nos Capítulos 4 e 5 em um único modelo.

A Figura 2.1 condensa a estrutura da tese, com seus principais elementos e conexões.

### 3 SISTEMAS DE AGENDAMENTO EM SERVIÇOS DE SAÚDE AMBULATORIAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

#### RESUMO

**Objetivo:** este estudo buscou revisar a teoria acerca de sistemas de agendamento em serviços de saúde ambulatoriais.

**Método de pesquisa:** foi realizada uma revisão sistemática de literatura a partir da base *Web of Science*, contemplando artigos em inglês e português publicados a partir de 2003.

**Resultados:** foram selecionados 65 estudos para análise, sendo observado um crescimento expressivo de pesquisas relacionadas ao tema nos últimos anos, assim como o predomínio de estudos analíticos de sistemas de agendamento com um servidor e um único estágio. Constatou-se também, dentro da segmentação adotada, diversos contextos não cobertos pelos sistemas de agendamento presentes na literatura.

**Conclusões:** entre as lacunas identificadas, destaca-se o potencial de exploração da heterogeneidade dos sistemas, especialmente a heterogeneidade associada ao período da sessão de atendimento e o recálculo de horários em função da heterogeneidade dos pacientes, visando maior liberdade de escolha de horários.

**Originalidade/valor:** ao mesmo tempo em que atualiza e organiza dados sobre a literatura relativa ao tema, o estudo aponta oportunidades relevantes para novas pesquisas.

**Palavras-Chave:** Serviços de Saúde, Saúde, Sistemas de Agendamento, Revisão Sistemática de Literatura.

#### 3.1 Introdução

Prestadores de serviços de saúde enfrentam diversos desafios para aumentar a eficiência e eficácia de seus sistemas, entre eles a crescente pressão de custos e demanda por qualidade (SAFDAR; EMROUZNEJAD; DEY, 2015). No caso de serviços ambulatoriais, o bom desempenho de um sistema de agendamento é um ponto crítico na busca por equilíbrio entre utilização de recursos e qualidade de serviços (DECEUNINCK; FIEMS; VUYST; 2018; LEE; HEIM; SRISKANDARAJAH; ZHU, 2018).

Reduzir o tempo de espera de pacientes é um dos problemas relevantes de um prestador de serviços ambulatoriais (GUPTA; DENTON, 2008). Em geral, demanda-

se que cada paciente obtenha antecipadamente um horário de agendamento, compareça ao prestador no horário agendado e então receba o serviço programado. A natureza estocástica de variáveis como tempos de serviço, pontualidade dos pacientes, *no-shows* e cancelamentos produzem uma grande variedade de situações complexas e muito esforço tem sido direcionado a sistemas de agendamento em termos de pesquisa (MORIKAWA; TAKAHASHI, 2017; XIAO; DONG; LI; SUN, 2017).

Os problemas de agendamento ocorrem em vários contextos operacionais, como transporte, manufatura e serviços (VANDEN BOSCH; DIETZ, SIMEONI, 1999) e muitas décadas de pesquisa têm sido dedicadas a este tema (LEUNG, 2004). Entretanto, devido às suas características únicas, estas técnicas não podem ser simplesmente replicadas para agendamento de serviços de saúde. Mesmo dentro deste setor, cenários diversos exigem soluções específicas. Choi e Banerjee (2016), por exemplo, citam as diferenças entre serviços ambulatoriais e cirurgias que impactam sistemas de agendamento. Enquanto nos primeiros o número de pacientes atendidos é maior, em cirurgias os procedimentos são mais longos e sujeitos a maior variação de tempo.

As atuais pesquisas sobre agendamentos ambulatoriais fornecem muitas técnicas úteis, porém o tema ainda precisa de aprofundamento para o tratamento de problemas ainda mais realistas (LEE; HEIM; SRISKANDARAJAH; ZHU, 2018). Muitos estudos não permitem generalização ou contemplam um conjunto muito restrito de premissas (CAYIRLI; VERAL, 2003; KUIPER; KEMPER; MANDJES, 2015).

Os primeiros estudos sobre sistemas de agendamento de serviços ambulatoriais tiveram início na década de 1950, com os trabalhos de Bailey (1952) e Lindley (1952). Desde então, o número de pesquisas sobre este assunto tem sido crescente. Uma abrangente revisão da teoria foi elaborada no trabalho seminal de Cayirli e Veral (2003), a qual tem sido largamente empregada como referência em pesquisas. Além de condensar a teoria, este estudo traz uma interessante estrutura, a qual classifica os aspectos referentes a sistemas de agendamento, bem como contribui para padronização da sua terminologia. Outra referência é o trabalho de Gupta e Denton (2008), o qual aponta desafios e oportunidades em sistemas de agendamento no setor de saúde, e não somente em serviços ambulatoriais, contemplando também o estado da arte acerca do tema. Mais recentemente, Ahmadi-Javid et al. (2017) realizaram uma detalhada revisão de literatura sobre sistemas de

agendamento ambulatorial, restringindo a pesquisa a estudos com uso de otimização publicados a partir de 2003, dada a relevância da revisão de Cayirli e Veral (2003).

Este estudo contempla uma revisão sistemática da literatura acerca de sistemas de agendamento ambulatorial. Mais precisamente, busca responder à seguinte pergunta de pesquisa:

- Quais são os sistemas de agendamento para serviços ambulatoriais existentes na literatura e como ela os classifica?

Considerando o trabalho de Cayirli e Veral (2003) como referência das publicações até 2003, este artigo abrange pesquisas publicadas a partir daquele ano e se baseia em sua estrutura para a classificação dos estudos selecionados. Esta seleção utilizou a base *Web of Science* e resultou em 65 artigos para análise. Observou-se um significativo aumento no número de pesquisas nos últimos anos, bem como a predominância de estudos analíticos e modelos com um estágio e um servidor. Destacam-se, ainda, as oportunidades para maior exploração da heterogeneidade para ganho de desempenho em sistemas de agendamento.

Além do método de pesquisa descrito no item 3.2, o restante deste trabalho consiste na segmentação dos artigos revisados em: fatores ambientais, indicadores de desempenho, desenvolvimento de sistemas de agendamento e métodos de pesquisa em sistemas de agendamento ambulatoriais, constantes nos itens 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, respectivamente. O item 3.7 contempla as considerações finais do estudo.

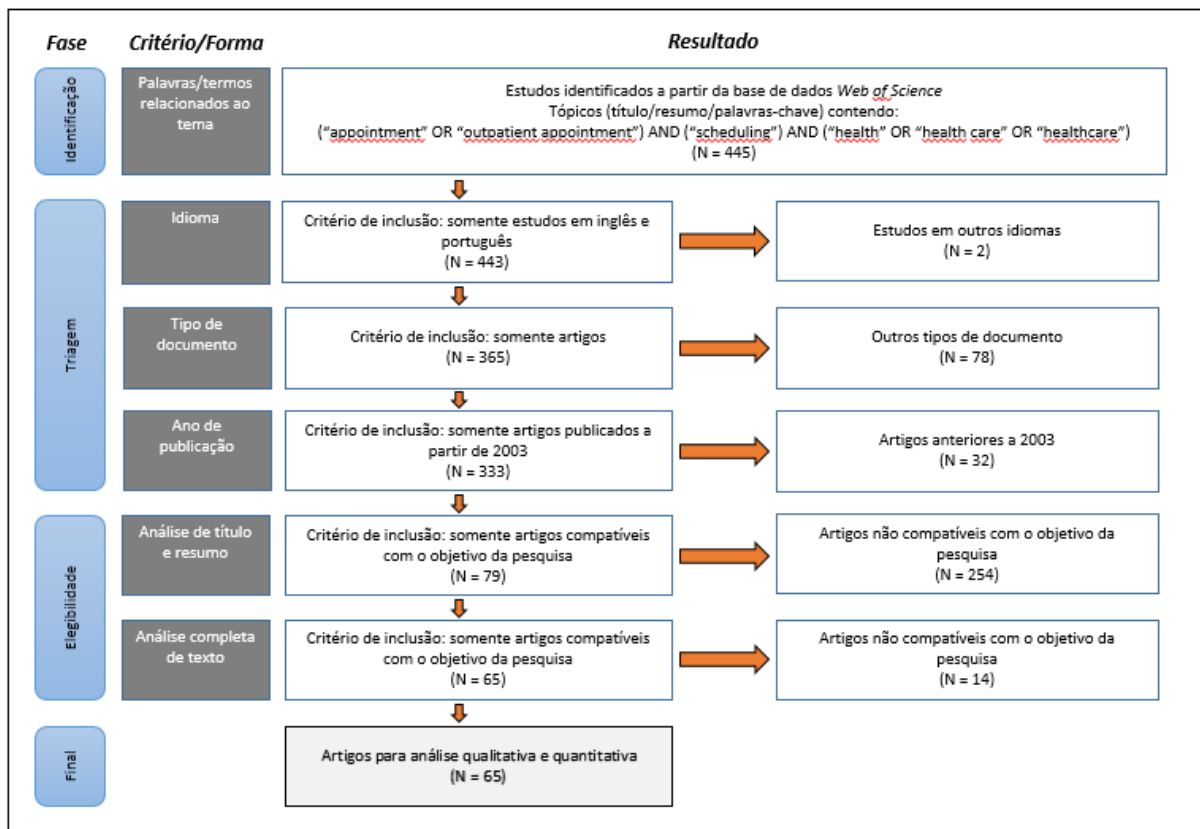
### **3.2 Método de pesquisa**

Este estudo consiste em uma revisão sistemática de literatura acerca de sistemas de agendamento de serviços de saúde ambulatoriais. A identificação dos estudos a serem revisados se deu por meio da base *Web of Science*, sendo considerados na busca os termos (“appointment” OR “outpatient appointment”) AND (“scheduling”) AND (“health” OR “health care” OR “healthcare”) entre os tópicos dos registros. Como um primeiro filtro, foram mantidos somente estudos em inglês e português. Na sequência, foram selecionados estudos na forma de artigo. Adicionalmente, dada a abrangência da revisão de literatura seminal de Cayirli e Veral (2003), a seleção foi restrita a artigos publicados a partir de 2003.

Concluída a triagem, foi realizada a fase de elegibilidade do material, iniciando-se com a leitura de títulos e resumos e consequente exclusão de itens não compatíveis com os objetivos da pesquisa. Ainda como parte desta fase, foram analisados os textos dos artigos remanescentes, com nova exclusão de estudos não relacionados. Dentro da elegibilidade buscou-se manter somente artigos contemplando pelo menos um modelo de sistema de agendamento, com abordagem quantitativa. Esta fase também desconsiderou sistemas com agenda aberta, onde não há definição de horários de agendamento. Este critério tem base no fato de esta abordagem contemplar elementos de decisão específicos, embora as medidas de desempenho sejam usualmente as mesmas de sistemas com horários agendados.

A Figura 3.1 demonstra o fluxo aplicado para seleção dos estudos. Como resultado deste processo, 65 artigos foram selecionados para análise qualitativa e quantitativa. Esta análise é apresentada nas seções seguintes, as quais se baseiam na estrutura proposta por Cayirli e Veral (2003).

Figura 3.1 – Fluxo do Processo de Seleção da Revisão Sistemática





A Tabela 3.1 traz a segmentação destes 65 estudos por período de publicação, permitindo constatar o recente crescimento no número de pesquisas sobre o tema.

Tabela 3.1 – Número de Estudos por Período

Período	Número de Estudos
2003 a 2006	3
2007 a 2010	4
2011 a 2014	26
2015 a Mar-2018	32
<b>Total</b>	<b>65</b>

Fonte: elaborado pelo autor

### 3.3 Fatores ambientais

Serviços ambulatoriais podem ser considerados sistemas de filas, onde os parâmetros devem ser configurados conforme as especificidades de cada cenário. O caso mais simples é o de um sistema onde não há atrasos dos pacientes, com um único profissional para atendimento e tempos de serviço estocásticos (CAYIRLI; VERAL; 2003). Tanto os serviços quanto os pacientes atendidos por um prestador apresentam características que impactam a configuração de um sistema de agendamento, comumente denominadas **fatores ambientais**.

#### 3.3.1 Tipos de Agendamento

Dois tipos de agendamento podem ser encontrados na literatura: sequencial e simultâneo. No primeiro os pacientes são agendados no momento da solicitação, enquanto no tipo simultâneo os agendamentos são realizados somente depois que todas as solicitações foram feitas (ZACHARIAS; PINEDO, 2014). Pérez et al (2013) apresentam o tipo sequencial estocástico, como uma extensão do agendamento sequencial, o qual considera o potencial de solicitações a serem recebidas após cada solicitação de agendamento.

Wang et al. (2018) apresentam um modelo que, conforme o estado do sistema no momento do agendamento, oferece ao paciente um determinado conjunto de horários, de modo a maximizar a receita do prestador.

Embora a prática do agendamento sequencial seja mais comum, o tipo simultâneo predomina na literatura, uma vez que sua modelagem é menos complexa (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). Em alguns estudos, como o de Zacharias e Pinedo (2014), os resultados obtidos a partir de um caso simultâneo são utilizados para analisar o caso correspondente do tipo sequencial.

Na medida em que os sistemas de agendamento eletrônico têm evoluído rapidamente (Wang e Gupta, 2011), a importância do agendamento simultâneo tem crescido, uma vez que as solicitações são coletadas via *e-mail* ou portal na *web* e, na sequência, os pacientes são informados sobre os horários de agendamento (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017).

Existem estudos recentes contemplando sistemas sequenciais, entretanto existe espaço para aprofundamento, em especial a abordagem de casos mais realistas.

O Quadro 3.1 do Apêndice contempla os tipos de agendamento dos estudos analisados.

### 3.3.2 Número de Estágios

A maior parte dos estudos modela um sistema de um estágio, onde os pacientes agendam um único serviço. Nos poucos estudos com cenários multiestágio (HAHN-GOLDBERG et al. 2014; TSAI; TENG, 2014; LIN, 2015; KUIPER; MANDJES, 2015), identificados no Quadro 3 do Apêndice, os horários de cada estágio são agendados separadamente. Existe, portanto, oportunidade para futuras pesquisas com cenários de múltiplos estágios.

### 3.3.3 Número de Servidores

O número de servidores para atendimento da demanda é um fator importante no desenvolvimento de um sistema de agendamento, impactando custos e qualidade dos serviços (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). Na literatura revisada há predomínio de estudos com um único servidor. Segundo Cayirli e Veral (2003), a motivação reside no fato de os pacientes terem preferência quanto a atendimento por um determinado médico, para o caso de consultas particulares.

Os principais recursos identificados na literatura revisada incluem equipes, salas, leitos/cadeiras e equipamento médico. Ahmadi-Javid et al. (2017) destacam os seguintes ambientes para os casos em que os servidores consistem em equipamentos: diferentes conjuntos de equipamentos idênticos, conjunto único de equipamentos idênticos e diferentes conjuntos com um único equipamento.

Embora o número de servidores possa impactar o desempenho de serviços ambulatoriais, conforme já mencionado, este parâmetro é um dado de entrada na grande parte das pesquisas analisadas. Torná-lo um fator de decisão em modelos futuros, portanto, configura-se como uma oportunidade. O número de servidores das pesquisas revisadas é demonstrado no Quadro 3.1 do Apêndice.

### 3.3.4 Número de Atendimentos por Sessão

Desde os primeiros estudos sobre sistemas de agendamento, como o de Welch e Bailey (1952), o número de atendimentos em uma sessão é considerado fator relevante no que diz respeito a desempenho. Pesquisas que buscam otimizar o número de atendimentos por sessão normalmente têm por objetivo a minimização dos tempos de espera de pacientes e horas-extras do servidor. Nos modelos de Cayirli et al. (2012) e Cayirli e Yang (2014), os intervalos entre agendamentos são definidos em função desse parâmetro.

O número de atendimentos em uma sessão impacta, ainda, o estado da fila de um sistema de agendamento e tem uma grande variação entre os trabalhos analisados. A pesquisa de Kuiper et al. (2015), por exemplo, estuda tanto estados estáveis quanto transientes. Para os cenários avaliados, o comportamento transiente é notado em sessões com até 25 atendimentos.

Fatores como absenteísmo (*no-show*) e presença de pacientes não-agendados (*walk-ins*) também influenciam o número de atendimentos, na medida em que este pode exercer uma forma de compensação. O Quadro 3.1 do Apêndice aponta o número de atendimentos por sessão dos estudos analisados.

### 3.3.5 Processo de Chegadas

Segundo Cayirli e Veral (2003), um conjunto de fatores compõe as características do processo de chegadas de pacientes, impactando o desempenho do

sistema de agendamento. Um destes fatores é a pontualidade do paciente. Os autores definem a falta de pontualidade como a diferença entre o horário agendado e o horário real da sua chegada, tanto na forma de atraso quanto de antecipação. A maioria dos autores que incluem a pontualidade em seus estudos contempla apenas os atrasos, considerando chegadas antecipadas como pontuais. Klassen e Yoogalingam (2014) analisam alternativas de tamanhos de blocos de pacientes e intervalos entre horários de agendamento para diferentes cenários de pontualidade, identificando as mais efetivas. Cayirli e Yang (2014) conduzem uma análise de sensibilidade para avaliar os efeitos da pontualidade no desempenho de seu modelo.

Outro fator relevante é o *no-show*. Em seu estudo sobre desafios e oportunidades em agendamentos, Gupta e Denton (2008), assim como Ahmadi-Javid et al. (2017), destacam este fenômeno como um ponto a ser explorado em maior profundidade. Os casos de cancelamentos com baixa antecedência (*late cancellations*), em que não há possibilidade de se agendar outro paciente no horário cancelado, são usualmente tratados como *no-shows* na literatura. O estudo de Deceuninck et al. (2018), entretanto, faz a seguinte distinção: em caso de *late cancellations* o paciente seguinte, caso tenha chegado antecipadamente, terá seu atendimento antecipado, enquanto no caso de *no-show*, deverá aguardar seu horário agendado.

Um terceiro fator a constituir o processo de chegadas é a aceitação de *walk-ins*, ou pacientes sem agendamento, classificados por Cayirli e Veral (2003) em regulares e urgentes, conforme o nível de prioridade de atendimento. Assim como *no-shows* podem ser compensados por meio de *overbooking* ou redução de intervalos entre agendamentos, o efeito de *walk-ins* pode ser mitigado mediante o bloqueio de horários na agenda ou um maior intervalo entre agendamentos. Morikawa e Takahashi (2017) tratam destas alternativas, alocando *walk-ins* em uma agenda de blocos múltiplos, previamente definida.

Considerar simultaneamente *no-shows* e *walk-ins* melhora o desempenho de um sistema de agendamento, segundo Ahmadi-Javid et al. (2017). Cayirli et al. (2012) e Cayirli e Yang (2014) sugerem um procedimento que ajusta a média e o desvio padrão dos tempos de serviço com base nas probabilidades de *no-shows* e *walk-ins*, buscando reduzir seus efeitos negativos.

A presença de *walk-ins* implica maior complexidade de modelagem, sendo esta a provável razão pela qual a maioria das pesquisas com abordagem de otimização não inclui este parâmetro em seus modelos, configurando uma lacuna na literatura (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). As características referentes a pontualidade, *no-shows* e *walk-ins* dos trabalhos revisados podem ser identificados no Quadro 3.1 do Apêndice.

### 3.3.6 Tempo de Serviço

O tempo de serviço pode ser definido como a soma de todos os tempos em que o paciente está demandando atenção de um servidor, impedindo este de atender outros pacientes (CAYIRLI; VERAL, 2003), podendo ser tanto um valor estocástico, com uma distribuição estatística, como um valor determinístico (GUPTA; DENTON, 2008). A modelagem de problemas de agendamento com tempos de serviço estocásticos é amplamente explorada na literatura (ERDOGAN; DENTON, 2013; AHMADI-JAVID et al. 2017).

Uma alta variabilidade dos tempos de serviço afeta negativamente tanto o tempo de espera dos pacientes como a ociosidade do prestador de serviços (DENTON; GUPTA, 2003; CAYIRLI et al, 2012). Distribuições de probabilidade que representam situações reais normalmente implicam complexidade para modelos analíticos. Kuiper et al. (2015) aplicam técnica de aproximação com distribuições faseadas para tempos de serviço, obtendo bons resultados, com baixo esforço computacional. Em seu modelo de otimização, Chakraborty et al. (2013) demonstram que a aplicação de distribuições gamma para tempos de serviço também proporcionam baixo tempo de processamento.

A maior parte das pesquisas assume distribuições idênticas, havendo uma tendência de estudos com distribuições heterogêneas, onde o tempo de serviço depende do tipo de paciente ou serviço (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). O Quadro 3.1 do Apêndice demonstra como os tempos de serviço são considerados nos estudos analisados.

### 3.3.7 Atrasos e Interrupções do Servidor

O tempo de espera dos pacientes é significativamente sensível a atrasos do servidor. Caso o primeiro serviço não seja iniciado pontualmente, observa-se um acúmulo de atrasos que se estende por toda a sessão de atendimento (CAYIRLI; VERAL, 2003). Entre os poucos estudos que tratam deste tema, a pesquisa de Klassen e Yoogalingam (2013) conclui que quanto maior o atraso, mais a sessão deve ter seu início postergado e os intervalos entre atendimentos devem ser mais curtos. Outro fator relacionado ao servidor é a interrupção no atendimento. No caso de médicos, por exemplo, inclui todas as atividades durante uma sessão que podem requerer a atenção do profissional, como interações com a equipe e telefonemas (CAYIRLI; VERAL, 2003).

Para o caso de interrupções, Klassen e Yoogalingam (2013) recomendam intervalos mais longos entre serviços no meio da sessão. Luo et al (2012) simulam distribuições de Poisson para a frequência de interrupções do servidor e afirmam que estas causam maior impacto quando não são uniformes ao longo de uma sessão de atendimento. As pesquisas que consideram interrupções do servidor estão apontadas no Quadro 3.1 do Apêndice.

### 3.4 Indicadores de desempenho

Existe uma série de critérios utilizada na literatura para avaliar sistemas de agendamento, os quais buscam equilibrar objetivos conflitantes das partes interessadas, frequentemente servidores e pacientes (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). Os resultados nas pesquisas são medidos usualmente em termos de tempo de espera de pacientes, tempo de ociosidade do servidor, horas-extras do servidor, número de pacientes atendidos e número de pacientes rejeitados pelo sistema (CAYIRLI; VERAL, 2003; AHMADI-JAVID et al. 2017). A alternativa de maior frequência na literatura (p. ex.: Lee et al., 2018; Jiang et al., 2017, Xiao et al., 2017; Salzarulo et al., 2016) consiste em atribuir pesos aos custos relacionados a espera do paciente ( $C_p$ ), ociosidade ( $C_d$ ) e horas-extras do servidor ( $C_o$ ). Deste modo, o objetivo seria atingir um custo total esperado mínimo, representado na seguinte equação:

$$\text{Mín } E(TC) = E(W)C_p + E(I)C_d + E(O)C_o$$

Em geral assume-se que  $C_d > C_p$ , uma vez que o  $C_d$  abrange não somente o custo do médico, mas também das instalações (CAYIRLI et al., 2012).

Alguns estudos não consideram o tempo de espera do paciente como um critério de desempenho. Tendo como premissa custos diferentes para médicos de uma clínica, o modelo de Wang et al. (2018) tem como objetivo maximizar a receita total do prestador. Kim e Giachetti (2016) consideram o lucro do servidor, baseado em receita, custos fixos e penalidades para hora-extra. Turkcan et al. (2011) consideram tempos de espera do paciente e horas-extras do servidor como restrições em vez de parte da função objetivo de seu modelo.

Morikawa et al. (2018) aplicam o conceito de *clearing function*, amplamente utilizado em problemas referentes a cadeia de suprimentos, estabelecendo relação entre tempos de espera e utilização do servidor. Qi (2016) propõe um indicador de insatisfação relacionado ao atraso no atendimento, o qual considera a frequência e intensidade de atrasos acima de um determinado limite, e busca balancear o nível de serviço entre pacientes. Riise et al. (2016) buscam equilibrar o número de pacientes agendados e o tempo de espera indireto, calculado pela diferença entre o dia da solicitação e o dia do atendimento. Empregando a técnica de *overbooking*, o modelo de Creps e Lofti (2017) considera o número de conflitos, representado pelo número de pacientes que comparecem em um mesmo horário, e a receita do servidor. Gocgun e Puterman (2014), Schuetz e Kolisch (2013) e Kim e Giachetti (2016) são exemplos de pesquisas que consideram penalidade para a rejeição de pacientes entre os critérios de desempenho. O Quadro 3.1 do Apêndice resume os indicadores de desempenho dos estudos revisados.

### **3.5 Desenvolvimento de um sistema de agendamento**

Cayirli e Veral (2003) consideram um sistema de agendamento como uma série de decisões, divididas em três conjuntos: regras de agendamento, uso de classificação de pacientes (quando aplicável) e ajustes para mitigar os efeitos negativos de *no-shows* e *walk-ins*.

#### **3.5.1 Regras de Agendamento**

Sessões de atendimento são usualmente divididas em blocos, sendo que cada bloco equivale a um horário agendado. As regras para agendamento envolvem o número de pacientes em cada bloco e o intervalo entre blocos. Uma vez que tanto o tamanho dos blocos e os intervalos podem ser fixos ou variáveis em uma mesma sessão, várias combinações podem ser feitas com estes parâmetros (CAYIRLI; VERAL, 2003).

A forma mais elementar de um sistema de agendamento é o bloco simples, o qual consiste em agendar todos os pacientes para que cheguem como um bloco no início da sessão, sendo atendidos por ordem de chegada. Obviamente esta regra implica tempos de espera excessivos para pacientes, ao mesmo tempo em que proporciona uma alta ocupação do servidor. Esta era a prática comum na década de 1950, a partir da qual tiveram início as pesquisas em agendamento de serviços ambulatoriais. Deste modo, observa-se que estes primeiros estudos exploram as vantagens do agendamento individual, sendo os pioneiros na transição de sistemas de bloco simples para sistemas de bloco individual (LINDLEY, 1952; BAILEY, 1952; FRY, 1964; JOHNSON; ROSENFELD, 1968; ROCKART; HOFMANN, 1969). Bailey (1952) propôs em seu estudo um bloco inicial com dois pacientes e intervalos fixos entre agendamentos, apontando os impactos para pacientes e servidores. Esta regra ficou conhecida como Regra de Bailey, a qual ainda é amplamente considerada na literatura.

O modelo de otimização e as heurísticas propostos por Choi e Banerjee (2016) utilizam intervalos fixos com blocos variáveis. Os cenários analisados contemplam variações sobre a regra de Bailey. Neste estudo estas variações são denominadas regras de Bailey periódicas, uma vez que não somente o bloco inicial, mas também blocos intermediários (distanciados por determinados períodos) contêm mais pacientes que os demais blocos. Conforme Zacharias e Pinedo (2014), blocos com mais de um paciente devem ser agendados para o início da sessão na maioria das regras de otimização analisadas. Em seu estudo analítico sobre intervalos variáveis, Wang (1993) concluiu que intervalos ótimos são crescentes no início de uma sessão de atendimento, decrescendo a partir da sua metade em direção ao final. Devido a este comportamento, este perfil de intervalos é referenciado como “formato de domo” e é aplicado em heurísticas como as de Denton e Gupta (2003), Cayirli et al. (2012) e Cayirli e Yang (2014) e estudos com otimização, como o de Kuiper e Mandjes (2015).



Luo et al. (2012) concluem que, para altas taxas de interrupção do servidor, intervalos crescentes ao longo da sessão trazem melhores resultados quando comparados com o “formato de domo”. Além da interrupção no servidor, Klassen e Yoogalingam (2013), também focam o seu atraso, concluindo que intervalos maiores entre agendamentos podem mitigar os efeitos das interrupções, enquanto os atrasos do servidor são compensados mediante deslocamento dos horários de atendimento em direção ao final da sessão. Su e Shih (2003) simulam diversos valores de intervalos fixos e várias formas de alocar horários para pacientes agendados e *walk-ins*, medindo separadamente o impacto nestes dois tipos de pacientes. No estudo de Chakraborty et al. (2013), os horários não são pré-definidos. O sistema escolhe um horário conforme critérios de desempenho e os períodos disponíveis são redefinidos dinamicamente, à medida que os pacientes são agendados. A pesquisa conclui que intervalos ótimos dependem da variabilidade dos tempos de serviço, bem como o comportamento dos *no-shows*. A pontualidade do paciente também exerce influência sobre os intervalos ótimos entre serviços (KLASSEN; YOOGALINGAM, 2014; TAI; WILLIAMS. 2012).

No Quadro 3.1 do Apêndice constam os tipos de intervalo e blocos de cada trabalho revisado.

### 3.5.2 Heterogeneidade e Classificação de Pacientes

Em uma grande parte dos estudos os pacientes são considerados homogêneos e agendados por ordem de solicitação. Entretanto, quando fatores como tempo de serviço e padrões de chegada permitem agrupá-los em classes, levanta-se a possibilidade de aprimorar o sistema de agendamento com o uso destas características (CAYIRLI; VERAL, 2003). Zacharias e Pinedo (2014) afirmam que a heterogeneidade de pacientes tem um impacto significativo no desempenho de um sistema de agendamento.

Segundo Cayirli e Veral (2003), a classificação de pacientes em agendamentos ambulatoriais é usualmente explorada com dois objetivos: sequenciar pacientes no momento do agendamento e/ou ajustar os intervalos entre agendamentos com base nas diferentes características das diferentes classes de pacientes. Como a agenda comumente precisa ser feita de modo antecipado e as solicitações de agendamentos são dinâmicas, o uso da classificação de pacientes é um tanto limitada. Uma aplicação

realista da classificação demanda que esta seja feita com um número de grupos gerenciável e que estes sejam alocados em janelas de tempo pré-determinadas ao solicitar um agendamento (CAYIRLI; VERAL, 2003).

Em sistemas com pacientes homogêneos o sequenciamento é indiferente, portanto o foco são os horários de atendimento e os modelos têm como objetivo definir horários onde os pacientes são encaixados à medida que solicitam um serviço. Em sistemas com pacientes heterogêneos, entretanto, muitas pesquisas lidam com o sequenciamento, buscando otimizá-lo. Dada a complexidade inerente a este tipo de problema, a maioria dos estudos aplica alguma regra para esta definição (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017).

O critério mais comumente utilizado para obtenção de sequências ótimas é a ordem crescente de variância dos tempos de serviço dos pacientes (MAK; RONG; ZHANG, 2014), sendo que sua eficácia depende do número de pacientes no sistema e a distribuição dos seus tempos de serviço (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). No estudo de Berg et al. (2014), além deste critério, o sequenciamento de pacientes em ordem crescente de taxa de *no-shows* também contribui para melhorar o desempenho do seu modelo. Bhattacharjee e Ray (2016) incluem ainda a pontualidade como variável em sua pesquisa.

Para os casos de agendamento simultâneo, onde a agenda é definida após recebidas todas as solicitações de agendamento, predominam modelos de otimização em que tanto o sequenciamento quanto os horários são definidos em função de características dos pacientes. Kong et al. (2013), Gocgun e Puterman (2014) e Huang e Bach (2016) distinguem pacientes novos de pacientes de retorno, aplicando este critério para sequenciamento e definição de horários de atendimento. Salzarulo et al. (2016) utilizam o tempo de serviço e seu erro padrão para definir os agendamentos.

Em sistemas de agendamento sequencial, em que os pacientes têm seus horários de atendimento definidos à medida que as solicitações são feitas, normalmente são aplicadas heurísticas para estabelecer horários para pacientes homogêneos, sendo que estes podem escolher qualquer horário livre. Já para o caso de heterogeneidade dos pacientes, esta é utilizada para definir este horário ou previamente reservar faixas de horários para diferentes classes. Schuetz e Kolisch (2013) distinguem casos ambulatoriais de internações, entre outros parâmetros, para reservar janelas de atendimento para as diferentes classes de pacientes. Cayirli e

Yang (2014) determinam horários específicos de atendimento para classificação de pacientes baseada em média e desvio-padrão dos tempos de atendimento, probabilidade de *no-shows* e probabilidade de *walk-ins*.

Para o caso de abordagens de otimização, sequências ótimas exatas ainda são desconhecidas para casos com três pacientes ou mais, devido à complexidade matemática em se determinar simultaneamente sequências e horários (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017).

Observa-se que na literatura não há estudos que exploram a heterogeneidade de pacientes associadas a períodos da sessão. Oleskovicz et al. (2014), por exemplo, apontam diferentes taxas de *no-show* entre os períodos da manhã e da tarde em sessões de atendimento de diversas especialidades. Isto possibilitaria utilizar a heterogeneidade para modelos sequenciais com horários pré-definidos, sem necessidade de informações antecipadas dos pacientes, reduzindo as restrições de escolha de horários.

Nas pesquisas com agendamento sequencial com horários pré-definidos, estes não são recalculados à medida que os pacientes são agendados e suas características são conhecidas. O trabalho de Hahn-Goldberg et al. (2014) é uma exceção, entretanto seu modelo assume tempos de serviço determinísticos, o que é considerado uma premissa não realista pela literatura (HONG; SHANG; ARUMUGAM; YUSUFF, 2013). No modelo sequencial de blocos múltiplos de Yan et al. (2015) os pacientes são divididos em grupos, conforme suas probabilidades de *no-show*, e a cada agendamento o recálculo se dá no número de vagas disponíveis por bloco, sem que os horários dos blocos sejam alterados.

Um resumo das características de heterogeneidade e opções do paciente dos estudos analisados pode ser verificado no Quadro 3.1 do Apêndice.

### 3.5.3 Ajustes para *No-shows* e *Walk-ins*

Uma forma de se compensar os efeitos negativos da incerteza do processo de chegadas é o ajuste dos intervalos entre serviços. Para *no-shows* esta compensação se dá por meio de redução dos intervalos, enquanto no caso de *walk-ins* aplica-se um incremento. Como alternativa, a literatura contempla o agendamento de um número de pacientes superior à capacidade teórica (*overbooking*) para mitigar o efeito de *no-*

*shows* ou a reserva de horários livres na agenda para acomodar *walk-ins* (CAYIRLI; VERAL 2003).

O modelo analítico de LaGanga e Lawrence (2012) obtém ganhos de desempenho mediante aplicação de *overbooking* em um modelo de intervalos fixos. Os autores concluem que os resultados, no entanto, não podem ser generalizados, uma vez que dependem do cenário estudado. Também empregando *overbooking*, Creps e Lofti (2017) consideram os conflitos de agenda como uma das métricas de desempenho, com base em ocorrências de um ou mais pacientes comparecendo em um mesmo horário. Morikawa e Takahashi (2017) desenvolvem um sistema em que os *walk-ins* são alocados em blocos reservados conforme suas características. Anderson et al. (2015) aplicam um fator de ajuste para os intervalos fixos de seu modelo, de modo a compensar *no-shows*. Nos trabalhos de Cayirli et al. (2012) e Cayirli e Yang (2014) são aplicados ajustes de média e variância dos tempos de serviço, tratando-se *no-shows* como atendimentos de tempo nulo e *walk-ins* como atendimentos com o dobro do tempo médio.

### **3.6 Métodos de pesquisa em sistemas de agendamento ambulatoriais**

Adotando a classificação de Cayirli e Veral (2003) os estudos sobre sistemas de agendamento podem ser segmentados em três métodos de pesquisa: estudos analíticos, simulações e estudos de caso.

A complexidade para o desenvolvimento de modelos analíticos para sistemas de agendamento se deve ao número de variáveis e suas distribuições de probabilidade, o que torna intratável a maioria dos problemas (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). Deste modo, abordagens analíticas assumem, em sua maioria, premissas não-realistas que limitam sua aplicação, como, por exemplo, tempos de serviço com distribuições de probabilidades exponenciais (CAYIRLI; YANG; QUEK, 2012). O estudo de Kuiper et al. (2015) ilustra os esforços em se contornar a questão das distribuições de probabilidade. O trabalho utiliza distribuições faseadas, analiticamente tratáveis, sem perda significativa de desempenho.

Sistemas de agendamento podem ser considerados sistemas de filas. Estas filas geralmente são transientes, não atingindo um estado de estabilidade, sendo este um fator que também contribui para a dificuldade de abordagens analíticas (KUIPER;

KEMPER; MANDJES, 2015). Por serem em muitos casos tratáveis somente em pequenas instâncias, modelos analíticos muitas vezes são utilizados no desenvolvimento de heurísticas para problemas de maior escala (CAYIRLI; VERAL, 2003). Entretanto, a recente evolução nos métodos analíticos tem permitido a obtenção de resultados ótimos para instâncias cada vez maiores (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017).

Dadas estas complexidades, são desenvolvidos estudos com o uso de simulações, muitas vezes combinadas com heurísticas e aproximações (GUPTA; DENTON, 2008). Segundo Cayirli e Veral (2003), uma vantagem do uso de simulações em relação a abordagens analíticas é a possibilidade de se modelar sistemas de filas complexos e representar variáveis ambientais, como atributos relacionados a pacientes ou servidores. As pesquisas conduzem experimentos de simulação para avaliar o desempenho de diferentes sistemas de agendamento e/ou compreender a relação entre diversos fatores ambientais e medidas de desempenho.

Em estudos de caso, os pesquisadores analisam um ambiente em particular, fazem recomendações para aprimoramento do sistema existente e, em alguns casos, avaliam os resultados de implantações (CAYIRLI; VERAL, 2003). Muito embora os estudos de caso ofereçam recomendações valiosas com base em situações reais, sua maior desvantagem é a falta de generalização. O Quadro 3.1 do Apêndice aponta os métodos de pesquisa empregados em cada um dos estudos revisados.

### **3.7 Considerações finais**

Sistemas de agendamento são um importante elemento de serviços de saúde ambulatoriais, uma vez que representam o elo entre eficiência na utilização de recursos e qualidade no atendimento. Sua importância tem crescido à medida que aumenta a ênfase em medicina preventiva e tempos de internação mais curtos.

Este estudo buscou revisar a literatura recente acerca de sistemas de agendamento ambulatoriais. Foram analisados 65 artigos, sendo os resultados segmentados em: fatores ambientais, indicadores de desempenho, desenvolvimento de sistemas de agendamento e métodos de pesquisa.

Observou-se um aumento no interesse em pesquisas sobre o tema, mediante um expressivo crescimento no número de pesquisas nos últimos anos. Também foi

possível constatar a predominância de abordagens analíticas como método de pesquisa, assim como sistemas de um estágio e um único servidor.

Quanto às oportunidades identificadas, duas não estão contempladas em revisões de literatura recentes e, de um modo geral, estão relacionadas à heterogeneidade dos pacientes e à sua liberdade para escolha de um horário na agenda. A primeira seria a ausência de estudos contemplando a heterogeneidade de pacientes associada a períodos da sessão de atendimento, a qual poderia ser utilizada em modelos sequenciais com horários pré-definidos, sem necessidade de informações antecipadas dos pacientes, reduzindo a imposição de horários ou faixas de horários para diferentes classes.

A segunda diz respeito ao recálculo de horários da agenda. Nas pesquisas com agendamento sequencial com horários pré-definidos, estes não são recalculados à medida que os pacientes são agendados e suas heterogeneidades são identificadas. O único estudo com esta abordagem adota tempos de serviço determinísticos, sendo esta uma premissa dificilmente encontrada em contextos reais.

Como limitação, este estudo não apresenta aprofundamento em alguns tópicos como, por exemplo, métodos de pesquisa e horizonte de agendas. Dada a abrangência do tema, diferentes restrições de escopo de pesquisa permitiriam novos estudos com foco em aspectos que demandam maior detalhamento. Por fim, a fonte de dados poderia ser estendida para outras bases, além da *Web of Science*.

## APÊNDICE

Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura

(N/A = Não se Aplica; N/E = Não Especificado)

Estudo	Tipo de Agendamento	Fatores Ambientais								Principais Indicadores de Desempenho	Regras de Agendamento		Heterogeneidade e Classificação de Pacientes		Método de Pesquisa
		Estágios	Servidores	Atendimentos por Sessão (máximo)	Cientes Pontuais	No-shows	Walk-ins	Tempos de Serviço	Atrasos e interrupções do servidor		Bloco	Intervalo	Heterogeneidade dos Pacientes	Opções do Paciente	
Akhavizadegan et al., 2014	Sequencial	1	1	32	S	S	S	Determinísticos	N	Receita do servidor	Individual	Fixo	No-shows	Sistema determina horário. Walk-ins podem ser rejeitados	Simulação
Alrefaei e Diabat, 2015	Sequencial	1	1	33	S	S	S	Estocásticos	N	Tempo de espera do paciente e do servidor e congestionamento do servidor	Individual e Múltiplo	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Anderson et al., 2015	N/A	1	1	N/A	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Berg et al., 2014	Simultâneo	1	1	12	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita e custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço e no-shows	Horários conforme classes de pacientes	Analítico/Estudo de Caso
Bhattacharjee e Ray, 2016	Simultâneo	1	1	Sequencial	N	S	N	Estocásticos	N	Tempos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço, no-shows e pontualidade	Sistema determina horário	Simulação/Estudo de Caso
Cayirli e Gunes, 2014	Sequencial	1	1	30	S	N	S	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Cayirli e Yang, 2014	Sequencial	1	1	15	S	S	S	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço, walk-ins e no-shows	Horários conforme classes de pacientes	Simulação
Cayirli et al., 2008	Simultâneo	1	1	20	S	S	S	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Novos pacientes e pacientes de retorno, walk-ins e no-shows	Sistema determina horário	Simulação
Cayirli et al., 2012	Sequencial	1	1	25	S	S	S	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Chakraborty et al., 2010	Sequencial	1	1	42	S	S	N	Estocásticos	N	Receita do servidor	Múltiplo	Variável	No-shows	Sistema determina horário	Analítico
Chakraborty et al., 2013	Sequencial	1	1	NA	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita e custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	No-shows	Sistema determina horário	Analítico

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação)

(N/A = Não se Aplica; N/E = Não Especificado)

Estudo	Tipo de Agendamento	Fatores Ambientais								Principais Indicadores de Desempenho	Regras de Agendamento		Heterogeneidade e Classificação de Pacientes		Método de Pesquisa
		Estágios	Servidores	Atendimentos por Sessão (máximo)	Clientes Pontuais	No-shows	Walk-ins	Tempos de Serviço	Atrasos e interrupções do servidor		Bloco	Intervalo	Heterogeneidade dos Pacientes	Opções do Paciente	
Chen et al., 2015	Sequencial	1	1	35	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de ociosidade do servidor	Múltiplo	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Choi e Banerjee, 2016	Sequencial	1	1	58	S	N	N	Estocásticos	N	Custo de espera do paciente	Múltiplo	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico/Simulação
Creps e Lofti, 2017	Sequencial	> 1	> 1	NA	S	S	N	Estocásticos	N	Receita do servidor e número de conflitos de agenda (pacientes no mesmo horário)	Individual	Fixo	No-shows	Sistema determina horário	Simulação
De Vuyst et al., 2014	Sequencial/Simultâneo	1	1	10	S	S	S	Estocásticos	S	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
Deceuninck et al., 2018	Simultâneo	1	1	12	N	S	N	Estocásticos	S	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Pontualidade	Sistema determina horário	Analítico
Erdogan e Denton, 2013	Sequencial/Simultâneo	1	1	11	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Erdogan et al., 2015	Sequencial	1	1	10	S	N	S	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Tempo de espera do paciente	Sistema determina horário	Analítico
Gocgun e Puterman, 2014	Sequencial	1	1	NA	S	S	N	NA	N	Custos de espera e rejeição do paciente	Individual	NA	Novos pacientes e pacientes de retorno	Horários conforme classes de pacientes	Simulação
Hahn-Goldberg et al., 2014	Sequencial	> 1	> 1	6	S	S	S	Determinísticos	N	Tempo total de atendimento	Individual	Fixo	Tipos de serviço	Qualquer horário livre	Analítico
Harper e Gamlin, 2003	Simultâneo	1	1	68	N	N	S	Estocásticos	S	Tempos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Pacientes novos e de retorno e emergência/urgências	Horários conforme classes de pacientes	Simulação
Huang e Bach, 2016	Simultâneo	1	1	12	S	N	N	Determinísticos	N	Tempo de espera do paciente	Individual	Fixo	Novos pacientes e pacientes de retorno	Sistema determina horário	Simulação

Fonte: elaborado pelo autor



Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação)

(N/A = Não se Aplica; N/E = Não Especificado)

Estudo	Tipo de Agendamento	Fatores Ambientais								Principais Indicadores de Desempenho	Regras de Agendamento		Heterogeneidade e Classificação de Pacientes		Método de Pesquisa
		Estágios	Servidores	Atendimentos por Sessão (máximo)	Clientes Pontuais	No-shows	Walk-ins	Tempos de Serviço	Atrasos e interrupções do servidor		Bloco	Intervalo	Heterogeneidade dos Pacientes	Opções do Paciente	
Huang e Marcak, 2015	Simultâneo	1	1	24	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual e Múltiplo	Variável	Heterogêneos. Classes não especificadas	Sistema determina horário	Simulação
Huang e Verduzco, 2015	Sequencial	1	1	28	S	S	N	Estocásticos	N	Tempos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor. Horário de término da sessão e número de pacientes agendados	Individual	Variável	Coefficiente de variação do tempo de serviço	Horários conforme classes de pacientes	Simulação
Huang, 2016	Simultâneo	1	>1	20	S	S	N	Estocásticos	N	Tempos e custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor. Horário de término da sessão e número de pacientes agendados	Individual	Variável	Pacientes novos e de retorno, crianças, emergência/urgências e exames	Sistema determina horário	Simulação
Jiang et al., 2017	Sequencial	1	1	50	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço e no-shows	Sistema determina horário	Analítico
Kim e Giachetti, 2006	Sequencial	1	1	12	S	S	S	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de rejeição do paciente e horas-extras do servidor	Individual	N/A	Homogêneos	N/A	Analítico/Estudo de Caso
Klassen e Yoogalingam, 2009	Sequencial	1	1	42	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor. Horário de término da sessão	Múltiplo	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Klassen e Yoogalingam, 2013	N/A	1	1	NA	S	N	N	Estocásticos	S	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Klassen e Yoogalingam, 2014	Sequencial	1	1	NA	N	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Múltiplo	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Kong et al., 2013	Simultâneo	1	1	24	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Novos pacientes e pacientes de retorno	Sistema determina horário	Analítico
Kortbeek et al., 2014	Sequencial	1	>1	8	S	S	S	Determinísticos	N	Número de walk-ins atendidos e tempo de espera do paciente	Individual	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação)

*(N/A = Não se Aplica; N/E = Não Especificado)*

Estudo	Tipo de Agendamento	Fatores Ambientais								Principais Indicadores de Desempenho	Regras de Agendamento		Heterogeneidade e Classificação de Pacientes		Método de Pesquisa
		Estágios	Servidores	Atendimentos por Sessão (máximo)	Clientes Pontuais	No-shows	Walk-ins	Tempos de Serviço	Atrasos e interrupções do servidor		Bloco	Intervalo	Heterogeneidade dos Pacientes	Opções do Paciente	
Kuiper e Mandjes, 2015	Simultâneo	> 1	> 1	15	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
Kuiper et al., 2015	Sequencial/ Simultâneo	1	1	25	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
La Ganga e Lawrence, 2012	N/A	1	1	NA	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Lee et al., 2018	Sequencial	1	1	25	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Múltiplo	Fixo	Tempo de serviço e no-shows	Sistema determina horário	Analítico
Lin et al., 2017	Sequencial	> 1	> 1	250	N	N	N	Determinísticos	N	Custo de espera do paciente e horas-extras e congestionamento do servidor	Múltiplo	Fixo	Fluxo de serviços, número de visitantes, pontualidade e tempo de serviço	Sistema determina horário	Simulação
Lin, 2015	Simultâneo	> 1	> 1	NA	S	N	N	Estocásticos	N	Custo de espera do paciente e horas-extras e congestionamento do servidor	Múltiplo	Fixo	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico/Estudo de Caso
Luo et al., 2012	N/A	1	1	7	S	S	S	Estocásticos	S	Lucro do servidor com base em receita e custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Mak et al., 2014	Simultâneo	1	1	NA	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
Mak et al., 2015	Simultâneo	1	1	8	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
Mancilla e Storer, 2012	Simultâneo	1	1	NA	S	N	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
Morikawa e Takahashi, 2017	Sequencial	1	1	34	S	N	S	Estocásticos	N	Tempo médio de espera do paciente	Múltiplo	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Morikawa et al., 2018	Sequencial	1	1	30	S	N	S	Estocásticos	N	Tempo médio de espera do paciente	Múltiplo	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação)

(N/A = Não se Aplica; N/E = Não Especificado)

Estudo	Tipo de Agendamento	Fatores Ambientais								Principais Indicadores de Desempenho	Regras de Agendamento		Heterogeneidade e Classificação de Pacientes		Método de Pesquisa
		Estágios	Servidores	Atendimentos por Sessão (máximo)	Clientes Pontuais	No-shows	Walk-ins	Tempos de Serviço	Atrasos e interrupções do servidor		Bloco	Intervalo	Heterogeneidade dos Pacientes	Opções do Paciente	
Nguyen et al., 2017	Sequencial	1	1	N/A	S	N	N	N/A	N	Ocupação do servidor	Individual	N/A	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Parizi e Ghate, 2016	Sequencial	> 1	> 1	NA	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de espera do paciente, rejeição de paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço e no-shows	Sistema determina horário	Analítico
Qi, 2016	Simultâneo	1	1	7	S	N	N	Estocásticos	N	Índice de insatisfação do paciente	Individual	Variável	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Analítico
Riise et al., 2016	Simultâneo	> 1	> 1	N/E	N/E	N	S	Determinísticos	N	Número de pacientes agendados e tempo de espera	Múltiplo	N/E	Tempo de serviço e fluxo	Sistema determina horário	Analítico
Salzarulo et al., 2016	Simultâneo	1	1	12	N	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Tempo de serviço	Horários conforme classes de pacientes	Simulação
Saremi et al., 2015	Simultâneo	> 1	> 1	40	S	N	N	Estocásticos	N	Tempo de espera do paciente e duração da sessão	Individual	Variável	Heterogêneos. Classes não especificadas	Sistema determina horário	Simulação
Schuetz e Kolisch, 2013	Sequencial	1	1	27	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de rejeição do paciente e horas-extras do servidor	Múltiplo	Fixo	Tempo de serviço e no-shows	Horários conforme classes de pacientes	Analítico
Sickinger e Kolisch, 2009	Sequencial	1	> 1	8	S	S	S	Determinísticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de espera do paciente e custo de recusa do atendimento	Individual	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Simulação
Su e Shih, 2003	Sequencial	1	1	25	S	N	S	Estocásticos	N	Número de atendimentos e tempo de espera do paciente	Individual	Fixo	Homogêneos	N/A	Simulação
Tai e Williams, 2012	Sequencial	1	1	50	N	N	N	Estocásticos	N	Tempos de espera do paciente e ociosidade do servidor	Individual	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Tang et al., 2014	N/A	1	1	NA	S	S	S	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 3.1 – Sistemas de Agendamento encontrados na literatura (continuação)

(N/A = Não se Aplica; N/E = Não Especificado)

Estudo	Tipo de Agendamento	Fatores Ambientais								Principais Indicadores de Desempenho	Regras de Agendamento		Heterogeneidade e Classificação de Pacientes		Método de Pesquisa
		Estágios	Servidores	Atendimentos por Sessão (máximo)	Clientes Pontuais	No-shows	Walk-ins	Tempos de Serviço	Atrasos e interrupções do servidor		Bloco	Intervalo	Heterogeneidade dos Pacientes	Opções do Paciente	
Tsai e Teng, 2014	Sequencial	> 1	> 1	NA	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Múltiplo	Fixo	No-shows e tipo de serviço	Horários conforme classes de pacientes	Analítico
Turkcan et al., 2011	Sequencial	1	1	17	S	S	N	Estocásticos	N	Receita do servidor	Individual	Fixo	No-shows	Sistema determina horário	Analítico
Vink et al., 2015	Sequencial	1	1	20	S	N	N	Estocásticos	N	Tempos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Wang et al, 2018	Sequencial	1	> 1	30	S	N	N	Determinísticos	N	Receita do servidor	Individual	Fixo	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
White et al., 2011	Simultâneo	> 1	1	32	S	N	N	Estocásticos	N	Duração da sessão	Individual	Fixo	Tempo de serviço	Sistema determina horário	Simulação
Xiao et al., 2017	Sequencial	1	1	19	S	S	N	Estocásticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico
Yan et al., 2014	Sequencial	1	1	37	S	S	S	Estocásticos	N	Receita do servidor menos custos de espera do paciente e horas-extras do servidor	Individual	Variável	No-shows	Sistema determina horário	Analítico
Yan et al., 2015	Sequencial	1	1	NA	S	S	N	Estocásticos	N	Lucro do servidor com base em receita, custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Múltiplo	Fixo	No-shows	Qualquer horário livre	Analítico
Zacharias e Pinedo, 2014	Sequencial	1	1	12	S	S	N	Estocásticos/ Determinísticos	N	Custos de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor	Individual	Variável	Número e tempo de serviços	Horários conforme classes de pacientes	Analítico
Zhang e Erdogan, 2017	Sequencial	1	1	6	S	N	N	Estocásticos	N	Tempo total de espera dos pacientes	Individual	Variável	Homogêneos	Qualquer horário livre	Analítico

Fonte: elaborado pelo autor

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi-Javid, A., Jalali, Z., & Klassen, K. J. (2017). Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34.
- Akhavizadegan, F., Ansarifard, J., & Jolai, F. (2017). A novel approach to determine a tactical and operational decision for dynamic appointment scheduling at nuclear medical center. *Computers & Operations Research*, 78, 267-277.
- Alrefaei, M. H., & Diabat, A. (2015). Modelling and optimization of outpatient appointment scheduling. *RAIRO-Operations Research*, 49(3), 435-450.
- Anderson, K., Zheng, B., Yoon, S. W., & Khasawneh, M. T. (2015). An analysis of overlapping appointment scheduling model in an outpatient clinic. *Operations Research for Health Care*, 4, 5-14.
- Bailey, N. T. (1952). A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments, with special reference to waiting-times. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 14(2), 185-199.
- Berg, B. P., Denton, B. T., Erdogan, S. A., Rohleder, T., & Huschka, T. (2014). Optimal booking and scheduling in outpatient procedure centers. *Computers & Operations Research*, 50, 24-37.
- Bhattacharjee, P., & Ray, P. K. (2016). Simulation modelling and analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: a case study. *Operations Research for Health Care*, 8, 71-84.
- Cayirli, T., & Gunes, E. D. (2014). Outpatient appointment scheduling in presence of seasonal walk-ins. *Journal of the Operational Research Society*, 65(4), 512-531.
- Cayirli, T., & Veral, E. (2003). Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Production and Operations Management*, 12(4), 519-549.
- Cayirli, T., & Yang, K. K. (2014). A universal appointment rule with patient classification for service times, no-shows, and walk-ins. *Service Science*, 6(4), 274-295.
- Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2008). Assessment of patient classification in appointment system design. *Production and Operations Management*, 17(3), 338-353.
- Cayirli, T., Yang, K. K., & Quek, S. A. (2012). A universal appointment rule in the presence of no-shows and walk-ins. *Production and Operations Management*, 21(4), 682-697.

Chakraborty, S., Muthuraman, K., & Lawley, M. (2010). Sequential clinical scheduling with patient no-shows and general service time distributions. *IIE Transactions*, *42*(5), 354-366.

Chakraborty, S., Muthuraman, K., & Lawley, M. (2013). Sequential clinical scheduling with patient no-show: The impact of pre-defined slot structures. *Socio-Economic Planning Sciences*, *47*(3), 205-219.

Chen, P. S., Robielos, R. A. C., Palaña, P. K. V. C., Valencia, P. L. L., & Chen, G. Y. H. (2015). Scheduling patients' appointments: Allocation of healthcare service using simulation optimization. *Journal of Healthcare Engineering*, *6*(2), 259-280.

Choi, S. S., & Banerjee, A. A. (2016). Comparison of a branch-and-bound heuristic, a newsvendor-based heuristic and periodic Bailey rules for outpatients appointment scheduling systems. *Journal of the Operational Research Society*, *67*(4), 576-592.

Creps, J., & Lotfi, V. (2017). A dynamic approach for outpatient scheduling. *Journal of Medical Economics*, *20*(8), 786-798.

De Vuyst, S., Bruneel, H., & Fiems, D. (2014). Computationally efficient evaluation of appointment schedules in health care. *European Journal of Operational Research*, *237*(3), 1142-1154.

Deceuninck, M., Fiems, D., & De Vuyst, S. (2018). Outpatient scheduling with unpunctual patients and no-shows. *European Journal of Operational Research*, *265*(1), 195-207.

Denton, B., & Gupta, D. (2003). A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling. *IIE Transactions*, *35*(11), 1003-1016.

Erdogan, S. A., & Denton, B. (2013). Dynamic appointment scheduling of a stochastic server with uncertain demand. *INFORMS Journal on Computing*, *25*(1), 116-132.

Erdogan, S. A., Gose, A., & Denton, B. T. (2015). Online appointment sequencing and scheduling. *IIE Transactions*, *47*(11), 1267-1286.

Fry, J. (1964). Appointments Systems in Hospitals and General Practice: Appointments in General Practice. *Journal of the Operational Research Society*, *15*(3), 233-237.

Gocgun, Y., & Puterman, M. L. (2014). Dynamic scheduling with due dates and time windows: an application to chemotherapy patient appointment booking. *Health Care Management Science*, *17*(1), 60-76.

- Gupta, D., & Denton, B. (2008). Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions*, 40(9), 800-819.
- Hahn-Goldberg, S., Carter, M. W., Beck, J. C., Trudeau, M., Sousa, P., & Beattie, K. (2014). Dynamic optimization of chemotherapy outpatient scheduling with uncertainty. *Health Care Management Science*, 17(4), 379-392.
- Harper, P. R., & Gamlin, H. M. (2003). Reduced outpatient waiting times with improved appointment scheduling: a simulation modelling approach. *Or Spectrum*, 25(2), 207-222.
- Hong, T. S., Shang, P. P., Arumugam, M., & Yusuff, R. M. (2013). Use of simulation to solve outpatient clinic problems: a review of the literature. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 27-47.
- Huang, Y. L. (2016). Appointment standardization evaluation in a primary care facility. *International Journal of Health Care Quality Assurance*.
- Huang, Y. L., & Bach, S. M. (2016). Appointment lead time policy development to improve patient access to care. *Applied Clinical Informatics*, 7(4), 954.
- Huang, Y. L., & Marcak, J. (2015). Grid patient appointment template design to improve scheduling effectiveness. *Journal of Healthcare Engineering*, 6(2), 239-258.
- Huang, Y., & Verduzco, S. (2015). Appointment template redesign in a women's health clinic using clinical constraints to improve service quality and efficiency. *Applied Clinical Informatics*, 6(02), 271-287.
- Jiang, R., Shen, S., & Zhang, Y. (2017). Integer programming approaches for appointment scheduling with random no-shows and service durations. *Operations Research*, 65(6), 1638-1656.
- Johnson, W. L., & Rosenfeld, L. S. (1968). Factors affecting waiting time in ambulatory care services. *Health Services Research*, 3(4), 286.
- Kim, S., & Giachetti, R. E. (2006). A stochastic mathematical appointment overbooking model for healthcare providers to improve profits. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 36(6), 1211-1219.
- Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2009). Improving performance in outpatient appointment services with a simulation optimization approach. *Production and Operations Management*, 18(4), 447-458.
- Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2013). Appointment system design with interruptions and physician lateness. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(4), 394-414.

Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2014). Strategies for appointment policy design with patient unpunctuality. *Decision Sciences*, 45(5), 881-911.

Kong, Q., Lee, C. Y., Teo, C. P., & Zheng, Z. (2013). Scheduling arrivals to a stochastic service delivery system using copositive cones. *Operations Research*, 61(3), 711-726.

Kortbeek, N., Zonderland, M. E., Braaksma, A., Vliegen, I. M., Boucherie, R. J., Litvak, N., & Hans, E. W. (2014). Designing cyclic appointment schedules for outpatient clinics with scheduled and unscheduled patient arrivals. *Performance Evaluation*, 80, 5-26.

Kuiper, A., & Mandjes, M. (2015). Appointment scheduling in tandem-type service systems. *Omega*, 57, 145-156.

Kuiper, A., Kemper, B., & Mandjes, M. (2015). A computational approach to optimized appointment scheduling. *Queueing Systems*, 79(1), 5-36.

LaGanga, L. R., & Lawrence, S. R. (2012). Appointment overbooking in health care clinics to improve patient service and clinic performance. *Production and Operations Management*, 21(5), 874-888.

Lee, S. J., Heim, G. R., Sriskandarajah, C., & Zhu, Y. (2018). Outpatient Appointment Block Scheduling Under Patient Heterogeneity and Patient No-Shows. *Production and Operations Management*, 27(1), 28-48.

Leung, J. Y. (Ed.). (2004). *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis*. CRC press.

Lin, C. K. Y. (2015). An adaptive scheduling heuristic with memory for the block appointment system of an outpatient specialty clinic. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7488-7516.

Lin, C. K. Y., Ling, T. W. C., & Yeung, W. K. (2017). Resource Allocation and Outpatient Appointment Scheduling Using Simulation Optimization. *Journal of Healthcare Engineering*.

Lindley, D. V. (1952, April). The theory of queues with a single server. In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* (Vol. 48, No. 2, pp. 277-289). Cambridge University Press.

Luo, J., Kulkarni, V. G., & Ziya, S. (2012). Appointment scheduling under patient no-shows and service interruptions. *Manufacturing & Service Operations Management*, 14(4), 670-684.



Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2014). Sequencing appointments for service systems using inventory approximations. *Manufacturing & Service Operations Management*, 16(2), 251-262.

Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2015). Appointment scheduling with limited distributional information. *Management Science*, 61(2), 316-334.

Mancilla, C., & Storer, R. (2012). A sample average approximation approach to stochastic appointment sequencing and scheduling. *IIE Transactions*, 44(8), 655-670.

Morikawa, K., & Takahashi, K. (2017). Scheduling appointments for walk-ins. *International Journal of Production Economics*, 190, 60-66.

Morikawa, K., Takahashi, K., & Hirotani, D. (2018). Performance evaluation of candidate appointment schedules using clearing functions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), 509-518.

Nguyen, T. B. T., Sivakumar, A. I., & Graves, S. C. (2017). Scheduling rules to achieve lead-time targets in outpatient appointment systems. *Health Care Management Science*, 20(4), 578-589.

Oleskovicz, M., Oliva, F. L., Grisi, C. C. D. H., Lima, A. C., & Custódio, I. (2014). Técnica de overbooking no atendimento público ambulatorial em uma unidade do Sistema Único de Saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, 30, 1009-1017.

Parizi, M. S., & Ghate, A. (2016). Multi-class, multi-resource advance scheduling with no-shows, cancellations and overbooking. *Computers & Operations Research*, 67, 90-101.

Pérez, E., Ntamo, L., Malavé, C. O., Bailey, C., & McCormack, P. (2013). Stochastic online appointment scheduling of multi-step sequential procedures in nuclear medicine. *Health Care Management Science*, 16(4), 281-299.

Qi, J. (2016). Mitigating delays and unfairness in appointment systems. *Management Science*, 63(2), 566-583.

Riise, A., Mannino, C., & Lamorgese, L. (2016). Recursive logic-based Benders' decomposition for multi-mode outpatient scheduling. *European Journal of Operational Research*, 255(3), 719-728.

Rockart, J. F., & Hofmann, P. B. (1969). Physician and patient behavior under different scheduling systems in a hospital outpatient department. *Medical Care*, 463-470.

Safdar, K. A., Emrouznejad, A., & Dey, P. K. (2016). Assessing the Queuing Process Using Data Envelopment Analysis: an Application in Health Centres. *Journal of Medical Systems*, 40(1), 32.

Salzarulo, P. A., Mahar, S., & Modi, S. (2016). Beyond patient classification: Using individual patient characteristics in appointment scheduling. *Production and Operations Management*, 25(6), 1056-1072.

Saremi, A., Jula, P., ElMekkawy, T., & Wang, G. G. (2015). Bi-criteria appointment scheduling of patients with heterogeneous service sequences. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4029-4041.

Schuetz, H. J., & Kolisch, R. (2013). 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*, 206(1), 401-423.

Sickinger, S., & Kolisch, R. (2009). The performance of a generalized Bailey–Welch rule for outpatient appointment scheduling under inpatient and emergency demand. *Health Care Management Science*, 12(4), 408.

Su, S., & Shih, C. L. (2003). Managing a mixed-registration-type appointment system in outpatient clinics. *International Journal of Medical Informatics*, 70(1), 31-40.

Tai, G., & Williams, P. (2012). Optimization of scheduling patient appointments in clinics using a novel modelling technique of patient arrival. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108(2), 467-476.

Tai, G., & Williams, P. (2013). Quantitative analysis of investment allocation over various resources of health care systems by using views of product lines. *International Journal of Systems Science*, 44(11), 2057-2067.

Tang, J., Yan, C., & Cao, P. (2014). Appointment scheduling algorithm considering routine and urgent patients. *Expert Systems with Applications*, 41(10), 4529-4541.

Tsai, P. F. J., & Teng, G. Y. (2014). A stochastic appointment scheduling system on multiple resources with dynamic call-in sequence and patient no-shows for an outpatient clinic. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 427-436.

Turkcan, A., Zeng, B., Muthuraman, K., & Lawley, M. (2011). Sequential clinical scheduling with service criteria. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 780-795.

Vanden Bosch, P. M., Dietz, D. C., & Simeoni, J. R. (1999). Scheduling customer arrivals to a stochastic service system. *Naval Research Logistics (NRL)*, 46(5), 549-559.

Vink, W., Kuiper, A., Kemper, B., & Bhulai, S. (2015). Optimal appointment scheduling in continuous time: The lag order approximation method. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 213-219.

Wang, J., Chen, Y. F., & Xu, M. (2018). Optimization and approximation methods for dynamic appointment scheduling with patient choices. *Computers & Operations Research*, 92, 65-76.

Wang, P. P. (1993). Static and dynamic scheduling of customer arrivals to a single-server system. *Naval Research Logistics (NRL)*, 40(3), 345-360.

Wang, W. Y., & Gupta, D. (2011). Adaptive appointment systems with patient preferences. *Manufacturing & Service Operations Management*, 13(3), 373-389.

Welch, J. D., & Bailey, N. J. (1952). Appointment systems in hospital outpatient departments. *The Lancet*, 259(6718), 1105-1108.

White, D. L., Froehle, C. M., & Klassen, K. J. (2011). The effect of integrated scheduling and capacity policies on clinical efficiency. *Production and Operations Management*, 20(3), 442-455.

Xiao, G., Dong, M., Li, J., & Sun, L. (2017). Scheduling routine and call-in clinical appointments with revisits. *International Journal of Production Research*, 55(6), 1767-1779.

Yan, C., Tang, J., & Jiang, B. (2014). Sequential appointment scheduling considering walk-in patients. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.

Yan, C., Tang, J., Jiang, B., & Fung, R. Y. (2015). Sequential appointment scheduling considering patient choice and service fairness. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7376-7395.

Zacharias, C., & Pinedo, M. (2014). Appointment Scheduling with No-Shows and Overbooking. *Production and Operations Management*, 23(5), 788-801.

Zhang, Y., Shen, S., & Erdogan, S. A. (2017). Distributionally robust appointment scheduling with moment-based ambiguity set. *Operations Research Letters*, 45(2), 139-144.



## 4 REGRAS DE AGENDAMENTO COM CLASSIFICAÇÃO DE PACIENTES: HEURÍSTICA PARA RECÁLCULO DE HORÁRIOS EM SISTEMAS DE AGENDAMENTO AMBULATORIAIS

### RESUMO

**Objetivo:** este estudo propõe uma heurística para ajuste de horários a cada solicitação em um sistema de agendamento ambulatorial, de modo a capturar os benefícios da classificação de pacientes mantendo, ao mesmo tempo, a liberdade de escolha de horários na agenda.

**Método de pesquisa:** a heurística proposta foi aplicada em simulações com 18 cenários, combinando-se diferentes fatores ambientais e adotando-se como métrica de desempenho o custo total, composto de espera do paciente e ociosidade e horas-extras do servidor. Os pacientes foram divididos em duas classes conforme a probabilidade de *no-show*, em uma sequência de chegadas com distribuição binomial. Como teste de significância dos resultados, foi aplicada a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni.

**Resultados:** observou-se um ganho de desempenho em termos de custo total (*TC*) variando entre 0,46% e 5,94%, entre as médias dos ambientes simulados, validados mediante o teste de significância proposto. Os menores custos foram obtidos nos cenários com menores relações entre custos do paciente e custos do servidor (*CR*), bem como menores coeficientes de variação dos tempos de serviço (*Cv*). Constatou-se, ainda, que a heurística é mais eficiente quando pacientes da classe com maior taxa de *no-show* predominam na sessão.

**Conclusões:** a heurística proposta proporcionou ganho de desempenho significativo para uma parte das combinações de fatores ambientais analisadas, preservando a flexibilidade na escolha de horários. Tanto o seu aprimoramento quanto o desenvolvimento de novas heurísticas são alternativas interessantes para novos estudos, assim como a ampliação das faixas para fatores e a inclusão de diferentes fontes de heterogeneidade.

**Originalidade/valor:** o único estudo contemplando recálculos identificado na literatura adota tempos de serviço determinísticos para viabilizar seu modelo. Já esta pesquisa assume premissas mais realistas para os ambientes simulados, considerando as variáveis e distribuições de probabilidades mais comumente observados em contextos práticos.

**Palavras-Chave:** Serviços de Saúde, Saúde, Sistemas de Agendamento, Simulação, Classificação de Pacientes.

### 4.1 Introdução

Tendo iniciado com o estudo de Bailey (1952), a pesquisa sobre sistemas de agendamento ambulatoriais busca há décadas lidar com os objetivos conflitantes de garantir um bom atendimento aos pacientes e, ao mesmo tempo, melhorar a eficiência na utilização de recursos. Recentemente uma maior competição, os aumentos de custos e a crescente demanda têm impulsionado a atenção sobre este tema. A maior procura por estes serviços de saúde tem como base não somente o crescimento e o envelhecimento populacionais, mas também o grande foco na medicina preventiva e a expressiva conversão de serviços que anteriormente demandavam internação em procedimentos ambulatoriais, em grande parte como consequência de avanços tecnológicos.

Dentre os desafios de se elaborar um sistema de agendamento ambulatorial, as incertezas inerentes a estes serviços desempenham um papel relevante. Na literatura acerca do tema, destacam-se os tempos de serviço, *no-shows*, *walk-ins* e a pontualidade dos pacientes como os fatores de variabilidade que mais impactam o desempenho de um sistema, usualmente medido pelos custos de espera dos pacientes e ociosidade e horas-extras do servidor (ERDOGAN; DENTON, 2013; MORIKAWA; TAKAHASHI, 2017; XIAO; DONG; LI; SUN, 2017). Em muitos casos estas incertezas implicam a inviabilidade de abordagens analíticas, principalmente quando as premissas adotadas estão mais próximas das situações reais.

Para construir seus modelos, muitos estudos consideram conjuntos homogêneos de pacientes, ou seja, com a mesma variabilidade. Neles as agendas são montadas anteriormente às solicitações e seus horários permanecem inalterados, permitindo ao paciente escolher o que for mais conveniente dentre os horários livres. Esta flexibilidade de escolha de horários tem motivado estudos, na medida em que representa um importante componente de satisfação dos pacientes (WANG; CHEN; XU, 2018).

Grande parte das pesquisas, entretanto, divide os pacientes em classes, conforme sua variabilidade, buscando melhorar os indicadores dos sistemas de agendamento. O sequenciamento de pacientes em ordem crescente de coeficiente de variação do tempo de serviço ou probabilidade de *no-show* é um critério frequentemente empregado e que traz resultados positivos (MAK; RONG; ZHANG, 2014; BERG; DENTON; ERDOGAN; ROHLER; HUSCHKA, 2014). Uma forma de aplicar esta heterogeneidade consiste em sequenciar os pacientes e atribuir um

horário de atendimento somente após conhecidas todas as suas características, ou seja, quando recebidas todas as solicitações de serviço (agendamento simultâneo). Isto proporciona um bom aproveitamento da heterogeneidade dos pacientes, contudo não permite a eles escolher um horário de sua preferência. Outro meio de se utilizar a heterogeneidade é atribuir um horário ao paciente no momento da solicitação (agendamento sequencial), entretanto com janelas de atendimento para cada classe de pacientes. Mesmo havendo liberdade de escolha de um horário, as opções se restringem a uma faixa dentro da sessão.

Este estudo propõe um sistema de agendamento sequencial em que pacientes heterogêneos selecionam um horário livre na agenda no momento da solicitação, sendo os horários remanescentes recalculados em função da classe dos pacientes. Mais precisamente, busca responder à seguinte pergunta de pesquisa:

- Como desenvolver um sistema de agendamento do tipo sequencial para pacientes heterogêneos, com horários pré-definidos e recalculados a cada agendamento, sem distinção de horários para classes de pacientes, obtendo desempenho superior aos modelos para pacientes homogêneos?

Como premissas, assume-se um sistema de um estágio com servidor único e pontualidade dos pacientes, os quais são divididos em duas classes, com base em diferentes probabilidades de *no-show* e probabilidades idênticas de chegada, sem que haja restrição de horário em função desta classificação. Uma agenda inicial é construída com a regra universal proposta por Cayirli et al. (2012). Uma heurística desenvolvida para recálculo dos horários livres remanescentes considera a probabilidade de *no-show* e a posição na agenda da última solicitação de agendamento. O desempenho, medido pela soma dos custos de espera do paciente, ociosidade e horas-extras do servidor, é então comparado entre a agenda inicial e a agenda final.

Foram simulados 18 ambientes com 10.000 sessões cada, combinando-se três valores de coeficiente de variação dos tempos de serviço ( $C_v$ ) e seis fatores de custo ( $CR$ ), que representam a razão entre os custos do servidor e do paciente. Para cada ambiente a heurística foi ajustada com coeficientes obtidos mediante otimização com uso da ferramenta *Solver* do *MS-Excel*.

Os resultados apontam para uma eficiência maior da heurística em valores mais baixos de  $C_v$  e  $CR$ , com uma redução média de custo total ( $TC$ ) variando de

0,46% a 5,94% entre os 18 ambientes, sendo que, dentro de um mesmo ambiente, as sessões com maior taxa de *no-show* obtiveram maior ganho de *TC*. Outra constatação, também mais evidente para valores menores de *Cv* e *CR*, foi a variação de *TC* em função da posição da primeira solicitação na agenda.

O grande número de combinações possíveis entre fatores ambientais e classes de pacientes representa um desafio na busca por sistemas de agendamento que atendam uma gama extensa de cenários. Contemplando apenas um fator de incerteza na classificação de pacientes, o *no-show*, este estudo obteve resultados significativos, criando a perspectiva de que a adição de novos fatores pode ampliar expressivamente o desempenho de sistemas de agendamento e, ao mesmo tempo, manter a flexibilidade para acomodar as preferências dos pacientes. Mais especificamente, contribuições futuras poderão ser obtidas mediante heurísticas focadas em ambientes com altos valores de *Cv* e *CR*, bem como a maior exploração dos impactos da sequência de solicitações.

O restante deste estudo está organizado em revisão teórica, método de pesquisa, resultados e considerações finais, constantes nos itens 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

## 4.2 Revisão de literatura

Neste artigo, considera-se um **sistema de agendamento** como o conjunto de decisões referentes a regras de agendamento, classificação de pacientes e ajustes para *no-shows* e *walk-ins*. Quanto às **regras de agendamento**, estas envolvem o número de pacientes em cada horário (tamanho do bloco) e o intervalo entre horários. Estas definições se baseiam em uma detalhada revisão de literatura sobre sistemas de agendamento realizada por Cayirli e Veral (2003), a qual tem sido amplamente utilizada como referencial teórico para o tema.

Enquanto parte da literatura considera os pacientes como homogêneos, outros estudos exploram a sua heterogeneidade, com base em fatores como tempo de serviço e probabilidade de *no-show*. Esta heterogeneidade permite dividir os pacientes em classes e o seu uso no desenho de um sistema de agendamento ambulatorial pode trazer ganhos significativos de desempenho, na medida em que as características do paciente são utilizadas para definição de sequência e intervalos



entre atendimentos (CAYIRLI; VERAL, 2003; CAYIRLI; VERAL; ROSEN, 2006; CAYIRLI; VERAL; ROSEN, 2008; ZACHARIAS; PINEDO, 2014). Para que a heterogeneidade seja utilizada na prática, no entanto, o número de classes deve ser limitado, de modo a ser gerenciável (CAYIRLI; YANG, 2014). O estudo de Walter (1973) foi um dos primeiros a sugerir a classificação de pacientes, baseada em tempos de serviço.

Dada a complexidade matemática em se otimizar, simultaneamente, o sequenciamento de pacientes e os intervalos entre agendamentos, sequências ótimas exatas ainda são desconhecidas para casos com três pacientes ou mais. Deste modo, muitos estudos desenvolvem sistemas baseados em regras para este fim (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). Com base em simulações, Klassen e Rohleder (1996) obtiveram melhores resultados quando os clientes são sequenciados em ordem crescente de variância do tempo de serviço, para uma mesma média. Este é o critério mais frequente para os casos de classificação de pacientes e sua eficácia depende do número de pacientes e as distribuições de tempos de serviço (MAK; RONG; ZHANG, 2015). Berg et al. (2014) também identificaram a ordem crescente de taxa de *no-shows* como uma regra eficaz.

Kuiper et al. (2015) classificam os sistemas de agendamento em sequenciais, nos quais os pacientes são agendados à medida que ocorrem as solicitações, e simultâneos, em que os horários são definidos somente após recebidas todas as solicitações. Devido à menor complexidade de modelagem, os sistemas simultâneos são mais frequentes na literatura (AHMADI-JAVID; JALALI; KLASSEN, 2017). Em ambos os tipos a heterogeneidade de pacientes é utilizada em benefício do desempenho do sistema.

Em sistemas simultâneos, a definição tanto da sequência ideal como do melhor horário para cada agendamento se dá conforme a classe do paciente, sem que este tenha opção de escolha. Deceuninck et al. (2018) desenvolvem um estudo analítico onde os pacientes são classificados quanto à sua pontualidade. Com base em métricas de custos de espera, ociosidade e horas-extras, propõem regras que melhoram o custo total. Adotando um índice de satisfação do cliente como medida de desempenho, Qi (2016) classifica os pacientes por tempo de serviço e desenvolve um conjunto de problemas de programação inteira mista para otimizar a sequência e os horários dos pacientes. Nas simulações de Salzarulo et al. (2016) os pacientes são classificados conforme as médias dos tempos de serviço, sendo que a ordem

crescente resulta na maior redução de custos. Ainda dentro de agendamentos simultâneos, o estudo analítico de Kong et al. (2013) e as simulações de Huang e Bach (2016) distinguem pacientes novos de pacientes de retorno, sendo este o critério para sequenciamento e definição de horários de atendimento.

Quando se trata de agendamento sequencial para pacientes heterogêneos, em parte dos estudos analisados o paciente tem um horário atribuído pelo sistema no momento da solicitação, sem opção de escolha. As simulações de Akhavizadegan et al. (2014) e Creps e Lofti (2017) apresentam sistemas que maximizam a receita do servidor, tendo o *no-show* como fator de heterogeneidade. O estudo analítico de Jiang et al. (2017) classifica os pacientes por tempo de serviço e *no-show* e busca minimizar os custos de espera, ociosidade do servidor e horas-extras. Com as mesmas métricas de desempenho, Lee et al. (2018) apresentam um sistema de blocos múltiplos, tendo o tempo de serviço e o *no-show* como fatores de heterogeneidade. Também considerando tempo de serviço e *no-shows* para distinção de pacientes, a abordagem analítica de Parizi e Ghate (2016) propõe um sistema que busca maximizar o lucro do servidor, baseado em receita e custos de espera do paciente, rejeição do paciente e horas-extras do servidor.

Em outros estudos sobre agendamento sequencial o paciente pode selecionar um horário, porém restrito a um conjunto de horários reservados para sua classe. Em sua revisão de literatura sobre agendamentos ambulatoriais, Cayirli e Veral (2003) destacam as limitações do uso da heterogeneidade, dado que em muitos casos a agenda precisa ser elaborada antecipadamente. Deste modo, sugerem janelas específicas para cada classe de pacientes dentro da sessão de atendimento. No sistema sequencial de Gocgun e Puterman (2014) é empregada simulação para minimizar os custos de espera e rejeição de pacientes, os quais são classificados como novos e de retorno. Schuetz e Kolisch (2013) baseiam-se no lucro do servidor para o desenvolvimento de um sistema que segrega os pacientes por tempo de serviço e probabilidade de *no-show*. Também com o objetivo de maximização de lucro, o sistema de blocos múltiplos de Tsai e Teng (2014) emprega tipo de serviço e *no-shows* como critérios de classificação de pacientes. Cayirli e Yang (2014) desenvolvem uma heurística com o objetivo de obter uma regra universal para sequenciamento de classes e definição de horários de agendamento, tendo média e coeficiente de variação do tempo de serviço, probabilidade de *no-show* e

probabilidade de *walk-ins* como fatores de heterogeneidade. Concluem que a melhor sequência de janelas para as classes de pacientes dentro da sessão depende, além dos fatores de heterogeneidade, da proporção entre os custos do servidor e o custo de espera dos pacientes. Em alguns estudos, como o de Zacharias e Pinedo (2014), os resultados obtidos a partir de um caso simultâneo são utilizados para analisar o caso correspondente do tipo sequencial.

Com base na literatura revisada, constata-se que quando a heterogeneidade é utilizada para ganho de desempenho o sistema define o horário para cada paciente ou este fica limitado a uma faixa restrita de horários da sessão, dependendo de sua classificação. Apenas no estudo de Hahn-Goldberg (2014) a heterogeneidade é aplicada para recalcular, a cada solicitação, os horários remanescentes da agenda, com livre escolha do paciente. Entretanto a simplificação adotada, de tempos de serviço determinísticos, não representa a maioria das situações reais (HONG; SHANG; ARUMUGAM; YUSUFF, 2013).

Também se identifica na teoria que não existem sistemas de agendamento que apresentem bom desempenho em todos os ambientes estudados, bem como combinações ideais de regras de sequenciamento e intervalos entre agendamentos que se apliquem a todos os cenários (CAYIRLI; YANG, 2014).

### **4.3 Método de pesquisa**

O uso de simulação como método de pesquisa em sistemas de agendamento permite modelar cenários de maior complexidade, bem como assumir premissas mais realistas (CAYIRLI; VERAL, 2003). Para avaliação da heurística proposta, foi desenhada uma simulação de eventos discretos com diferentes fatores ambientais e realizado um comparativo de desempenho.

#### **4.3.1 Delineamento do Experimento**

Os ambientes foram simulados com um servidor e um único estágio de serviço. Assumiu-se pontualidade, tanto dos clientes como do servidor, e um sistema de blocos individuais, ou seja, cada paciente tem um agendamento individual. Os horários são previamente definidos e atribuídos a cada paciente no momento de cada solicitação, configurando, portanto, agendamento sequencial. Os pacientes escolhem livremente

um horário disponível na sessão, o qual após definido não pode ser alterado. Por sua vez, os horários livres remanescentes podem ser revistos, sendo este o objeto de estudo deste trabalho.

Os cenários delineados são formados por sessões com 10 atendimentos ( $N=10$ ) e taxa média de *no-shows* ( $Pn$ ) de 20%, formada por duas classes de pacientes, sendo uma com taxa de 5% ( $PnA$ ) e outra com probabilidade de 35% ( $PnB$ ). Para estas variáveis adotou-se distribuição binomial independente. As solicitações de agendamento ocorrem em sequência aleatória, na qual os horários solicitados seguem distribuição uniforme independente. Quanto às classes de pacientes que os solicitam, também são definidas aleatoriamente, com distribuição binomial independente e probabilidades idênticas.

Dada a complexidade de modelagem, não foram considerados *walk-ins* (pacientes não agendados) neste estudo, portanto a taxa de *walk-ins* ( $Pw$ ) é de 0% para todos os cenários.

Para efeitos de simplificação, a média dos tempos de serviço ( $\mu$ ) foi considerada como 1. Os tempos de serviço seguem distribuição lognormal independente, com coeficientes de variação ( $Cv$ ) de 0,4, 0,6 e 0,8.

Para os custos do servidor e o custo de espera dos pacientes adotou-se valores de relação ( $CR$ ) de 1, 2, 5, 10, 25 e 50. Como exemplo, um valor de  $CR=5$  significa que o custo do servidor tem um peso cinco vezes maior que o custo de espera do paciente.

Os fatores descritos estão resumidos na Tabela 4.1. Cada combinação de fatores representa um ambiente. Para cada um dos 18 ambientes foram simuladas 10.000 sessões de atendimento.

Tabela 4.1 – Fatores Ambientais

Fator	Valores
N	10
Cv	0,4 - 0,6 - 0,8
Pn	20%
PnA - PnB	5% - 35%
Pw	0%
CR	1 - 2 - 5 - 10 - 25 - 50

Fonte: elaborado pelo autor

### 4.3.2 Avaliação de Desempenho

Para avaliar o desempenho da heurística proposta foi adotado o indicador de custo total ( $TC$ ), formado pelos seguintes componentes:

- *WAIT*: representa o tempo médio de espera dos pacientes, obtido pela diferença entre o horário de início do serviço e o horário do agendamento. Para o cálculo desta média, considera-se apenas os pacientes atendidos, excluindo-se os *no-shows*;
- *IDLE*: é o tempo em que o servidor permanece ocioso ao longo da sessão, desde o seu início até o término agendado, independentemente do término de atendimento do último paciente, dividido pelo número de pacientes atendidos em toda a sessão;
- *OVER*: é o tempo requerido para atender pacientes, além do horário agendado para término da sessão, dividido pelo total de pacientes atendidos em toda a sessão.

Estes três indicadores de tempo são, portanto, medidos por paciente atendido.

O equilíbrio entre estes indicadores pode ser estimado subjetivamente pelo decisor com base nos valores relativos dos custos por de espera do paciente ( $Cp$ ), custo de ociosidade do servidor ( $Cd$ ) e custo de horas-extras do servidor ( $Co$ ). Estes três custos são medidos por unidade de tempo.

Este estudo combina  $Cp$  e  $Co$  em um único parâmetro por meio da relação  $Co/Cd$  fixada em 1,5, valor que reflete a prática comum quanto à proporção entre horas regulares e horas-extras.

Desta maneira, o custo total esperado ( $TC$ ) do sistema, por paciente, pode ser representado pela Equação 1, sendo esta a variável a ser minimizada no modelo.

$$TC = (WAIT)Cp + [(IDLE) + 1,5(OVER)]Cd \quad (1)$$

Notar que a relação  $Cd/Cp$  representa a variável  $CR$ , já mencionada.

Para efeitos de comparação, foi criado um cenário-base para cada ambiente do experimento. Para definição dos horários de agendamento ( $A_i$ ) nestes cenários,

adotou-se a regra universal *Dome* proposta por Cayirli et al. (2012). Esta regra apresenta bom desempenho em uma ampla gama de fatores ambientais, incluindo os fatores do experimento proposto neste estudo. Nela os intervalos entre agendamentos são menores no início da sessão, expandindo-se em sua parte intermediária e sendo novamente reduzidos à medida que o fim da sessão se aproxima, assumindo, deste modo, um “formato de domo”. Esta regra é representada pela Equação 2.

$$A_i = \text{Máx}\{0, k(i - 1)\mu' - \sigma' \sqrt{i} \cdot \pi\} \quad (2)$$

$$\text{Para } i = 1 \text{ a } N, \text{ sendo } \pi = \frac{(N+i)}{(N-1)}$$

O valor de  $k$  é obtido em função dos fatores ambientais e os valores de  $\mu'$  e  $\sigma'$  representam, respectivamente, a média e o desvio padrão dos tempos de serviço ajustados pelas taxas de *no-shows* ( $P_n$ ) e *walk-ins* ( $P_w$ ). O Apêndice A descreve detalhadamente os componentes desta regra.

#### 4.3.3 Teste de Significância

Como os ganhos de  $TC$  têm por base comparativos das médias antes (cenário-base) e após a aplicação da heurística para cada ambiente, torna-se necessário um teste de significância. Sendo a heurística aplicada sobre os mesmos dados simulados para o cenário-base, obtém-se um perfil longitudinal. Deste modo adotou-se como técnica a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni, com intervalo de confiança de 95%.

#### 4.3.4 Heurística Proposta

Na literatura acerca de sistemas de agendamento, pacientes heterogêneos são predominantemente tratados em sistemas simultâneos. Deste modo, seus horários de atendimento são definidos após realizadas todas as solicitações de agendamento. Já nos estudos de pacientes heterogêneos com sistemas sequenciais os pacientes são divididos em classes, conforme os fatores que caracterizam sua heterogeneidade, sendo que cada classe é limitada a uma faixa de horários dentro da sessão de

atendimento. Estas abordagens utilizam a heterogeneidade para construir modelos de maior eficiência.

Este trabalho contempla um sistema sequencial para pacientes heterogêneos em que não há restrição de horários para classes de pacientes na sessão de atendimento. O fator escolhido para caracterizar a heterogeneidade foi a taxa de *no-shows* ( $P_n$ ), a qual foi dividida em duas classes:  $P_{nA}$  e  $P_{nB}$ .

A heurística proposta parte de uma agenda inicial para cada ambiente, construída com a média de  $P_{nA}$  e  $P_{nB}$ , considerando, portanto, os pacientes como homogêneos em um primeiro momento. Este é o cenário-base, que utiliza a regra *Dome* para definição de horários, conforme descrito no item 4.3.2.

A cada solicitação de agendamento o paciente seleciona uma posição  $j$  entre os horários livres na agenda e os horários livres remanescentes são ajustados conforme a heurística. Deste modo, a agenda assume 10 estados diferentes até que seja totalmente preenchida. Ao final de cada iteração a probabilidade de *no-show* da sessão ( $P_{nS}$ ) é recalculada com base nas probabilidades de *no-show* dos horários já agendados e na probabilidade  $P_n$  dos horários livres remanescentes.

Os índices e variáveis que compõem a heurística são descritos a seguir.

$i$  = índice para posição na agenda ( $i=1$  a  $N$ )

$j$  = índice para posição do horário solicitado na agenda ( $j=1$  a  $N$ )

$A_i$  = horário da posição  $i$

$S_i$  = status da posição  $i$  ( $S_i = 0; 1$ , sendo 0=agendado e 1=livre)

$P_n$  = probabilidade média de *no-show* dos horários livres (20%)

$P_{nj}$  = probabilidade de *no-show* do paciente da posição solicitada  $j$  ( $P_{nA}$  ou  $P_{nB}$ )

$P_{nS}$  = probabilidade média de *no-show* da sessão

Uma vez definida a agenda inicial, executa-se o seguinte algoritmo para ajuste dos horários da agenda ( $A_i$ ):

$S_i = 1$  para  $i=1$  a  $N$

$P_{nS} = P_n$

Para  $j=1$  a  $N$  (sequência aleatória)

$P_{nj} = P_{nA}; P_{nB}$

Se  $i=j$

$S_i = 0$

Se  $i < j$

Se  $P_{nj} > PnS$

$$A_i = \text{Máx} \left\{ A_{i-1}; A_i + S_i \left( 1 + \frac{P_{nj} - Pn}{N.PnS} \right) A_i X_1 (j - i - Y_1) \frac{j}{iZ_1} + S_i \mu W_1 \right\} \quad (3)$$

( $i = 2$  a  $N$ )

Se  $P_{nj} < PnS$

$$A_i = \text{Máx} \left\{ A_{i-1}; A_i - S_i \left( 1 + \frac{P_{nj} - Pn}{N.PnS} \right) A_i X_2 (j - i - Y_2) \frac{j}{iZ_2} + S_i \mu W_2 \right\} \quad (4)$$

( $i = 2$  a  $N$ )

Se  $i > j$

Se  $P_{nj} > PnS$

$$A_i = \text{Máx} \left\{ A_{i-1}; A_i - S_i \left( 1 + \frac{P_{nj} - Pn}{N.PnS} \right) A_i X_3 (N - i - Y_3) \frac{j}{iZ_3} + S_i \mu W_3 \right\} \quad (5)$$

( $i = 2$  a  $N$ )

Se  $P_{nj} < PnS$

$$A_i = \text{Máx} \left\{ A_{i-1}; A_i + S_i \left( 1 + \frac{P_{nj} - Pn}{N.PnS} \right) A_i X_4 (N - i - Y_4) \frac{j}{iZ_4} + S_i \mu W_4 \right\} \quad (6)$$

( $i = 2$  a  $N$ )

$$PnS = PnS + \frac{P_{nj} - Pn}{N}$$

De um modo geral, o algoritmo busca redistribuir os horários livres ( $S=1$ ) remanescentes a partir do horário  $j$  que está sendo agendado, com o objetivo de melhorar o equilíbrio entre ocupação do servidor e tempo de espera dos pacientes. Parte-se do princípio de que, quando a probabilidade de o paciente do horário  $j$  faltar ( $P_{nj}$ ) é maior que probabilidade média de *no-show* da sessão ( $PnS$ ) no momento, ou



seja, quando  $Pn_j > PnS$ , os horários remanescentes podem ser aproximados do horário  $j$ , que tem uma probabilidade maior de não ser ocupado. Para que esta aproximação ocorra, os horários anteriores a  $j$  ( $i < j$ ) deverão ser aumentados, enquanto os posteriores ( $i > j$ ) deverão ser reduzidos. De maneira análoga, quando  $Pn_j < PnS$  os horários remanescentes deverão ser afastados em relação a  $j$ . Tanto a aproximação quanto o afastamento não são lineares, mas proporcionais à distância em relação a  $j$ . Isto pode ser observado no componente  $\frac{j}{iZ}$  das equações 3 a 6, bem como nos componentes  $j-i$  das equações 3 e 4 e  $N-i$  das equações 5 e 6. Quanto à magnitude, as redistribuições são proporcionais à diferença entre a probabilidade de *no-show* do paciente do horário  $j$  ( $Pn_j$ ) e a probabilidade média de *no-show* da sessão ( $PnS$ ) no momento, o que está refletido no componente  $\frac{Pn_j - Pn}{PnS}$  das equações 3 a 6. Já o sinal atribuído ao componente  $S_i$  nas equações 3 a 6 define aumento dos horários remanescentes, se positivo, ou redução, se negativo.

Quadro 4.1 – Etapas de Modelagem, Simulação e Otimização

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>
Modelagem das sessões de atendimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem matemática de uma sessão de atendimento como um sistema de filas</li> <li>• Inclusão da heurística proposta na modelagem para atualização dos horários agendados a cada iteração</li> <li>• Criação de 10.000 sessões em ambiente <i>MS-Excel</i> com a modelagem desenvolvida</li> </ul>
Geração de dados aleatórios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração de 10.000 conjuntos de dados aleatórios como parâmetros de entrada para as sessões de atendimento do modelo, contendo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- sequência de solicitações de agendamento</li> <li>- classe de paciente para cada solicitação de agendamento</li> <li>- tempo de serviço</li> <li>- taxa de <i>no-show</i></li> </ul> </li> </ul>
Inclusão da agenda inicial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação da agenda inicial, com horários calculados com a regra <i>Dome</i>, como dado de entrada para as 10.000 sessões modeladas</li> </ul>
Simulação do cenário-base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parametrização dos coeficientes da heurística (<math>X, Y, Z</math> e <math>W</math>) como zero, tornando-a sem efeito</li> <li>• Extração dos indicadores do cenário-base</li> </ul>
Otimização do modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimização do modelo matemático com uso da ferramenta <i>Solver</i> do <i>MS-Excel</i>, tendo os coeficientes <math>X, Y, Z</math> e <math>W</math> como variáveis de decisão e a minimização de <math>TC</math> como objetivo</li> <li>• Extração dos indicadores para o cenário otimizado</li> </ul>

Fonte: elaborado pelo autor

Em resumo, a cada iteração o algoritmo atribui o valor  $S_i=0$  para o horário que está sendo agendado ( $j$ ), significando que aquele horário não poderá ser alterado nas

iterações seguintes. Na sequência, caso  $Pn_j > PnS$ , as equações 3 e 5 irão recalcular os horários anteriores e posteriores a  $j$ , respectivamente. Caso  $Pn_j < PnS$ , serão aplicadas as equações 4 e 6. A final da iteração o valor da probabilidade média de *no-show* da sessão ( $PnS$ ) é atualizado com base na probabilidade de *no-show* do horário agendado na iteração ( $Pn_j$ ).

Os fatores  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  e  $W$  de cada ambiente são obtidos por meio de otimização aplicada às 10.000 sessões com uso da ferramenta *Solver* do *MS-Excel*, utilizando-se o método GRG-Não Linear e parametrizando-se a minimização do custo total ( $TC$ ) como objetivo.

A modelagem dos ambientes, elaborada em *MS-Excel*, consta no Apêndice D. O Quadro 4.1 resume a sequência de etapas de modelagem, simulação e otimização empregadas.

## 4.4 Resultados

Nesta seção são analisados os resultados das simulações realizadas com o método proposto, as quais consistem em ambientes com solicitações de agendamento em sequência aleatória e ajustes nos horários em função da probabilidade de *no-show* de cada paciente.

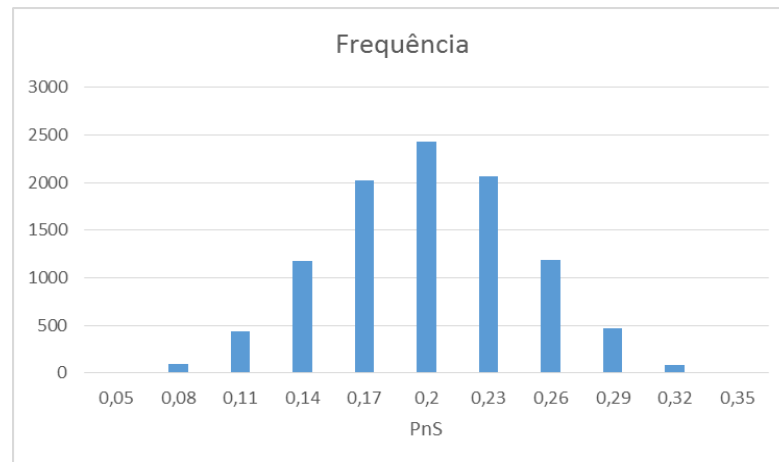
### 4.4.1 Impactos da Heterogeneidade no Cenário Base

Dada a distribuição binomial para a seleção da classe de cada paciente agendado, as maiores frequências de  $PnS$  ao final da sessão, que representam a probabilidade acumulada de *no-show*, se dão em torno da média. A distribuição destas frequências pode ser verificada no Gráfico 4.1.

Esta heterogeneidade dos pacientes, representada pela combinação de probabilidades de *no-show*, permite análise dos impactos nos indicadores, independentemente da aplicação da heurística proposta. A Tabela 4.2 ilustra a variação dos valores de  $IDLE$ ,  $WAIT$  e  $OVER$  em função de  $PnS$  para o caso do ambiente com  $Cv=0,6$  e  $CR=1$ , considerando o cenário-base, ou seja, antes do uso da heurística. Como estes indicadores são custos por paciente atendido,  $IDLE$  e

*OVER* foram multiplicados por *N*, passando assim a representar o custo por sessão, tornando estes dois números mais adequados para esta análise.

Gráfico 4.1 – Histograma de *PnS*



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 4.2 – Impacto de *PnS* antes da aplicação da heurística proposta –  $Cv=0,6$  e  $CR=1$

<i>PnS</i>	Frequência	WAIT	IDLE x N	OVER x N
$\leq 0,14$	1727	0,569	1,451	2,172
$>0,14$ e $\leq 0,17$	2027	0,501	1,744	2,029
$>0,17$ e $<0,23$	2433	0,464	1,950	1,927
$\geq 0,23$ e $<0,26$	2062	0,440	2,139	1,890
$\geq 0,26$	1751	0,392	2,450	1,774
<b>Totais</b>	<b>10000</b>	<b>0,472</b>	<b>1,949</b>	<b>1,956</b>

Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se que à medida que aumenta *PnS*, aumentam os valores de *IDLE*x*N* (ociosidade da sessão), enquanto *OVER*x*N* (horas-extras) diminui. Estes comportamentos são esperados, uma vez que um *PnS* maior implica maior probabilidade de se ter menos pacientes atendidos. Da mesma forma, o *WAIT* (tempo de espera médio de cada paciente) tende a diminuir com o aumento de *PnS*, haja vista que um número menor de pacientes leva à redução dos tempos de espera.

Deste modo, uma vez preenchida a agenda da sessão com todas as solicitações é possível estimar antecipadamente a ocupação da sessão e, conseqüentemente, aprimorar o planejamento de recursos.

Tabela 4.3 – Impacto de PnS antes da aplicação da heurística proposta

CV=0,4	PnS	Frequência	CR=1			CR=2			CR=5			CR=10			CR=25			CR=50		
			WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N
	≤0,14	1727	120,3%	71,5%	106,9%	123,9%	59,9%	120,4%	124,6%	53,3%	133,1%	124,3%	51,3%	138,5%	142,8%	49,5%	123,4%	122,2%	48,6%	144,9%
	>0,14 e ≤0,17	2027	107,5%	89,3%	105,4%	107,5%	83,9%	111,5%	107,5%	78,8%	115,2%	107,4%	76,5%	116,2%	116,9%	74,4%	107,4%	107,3%	73,3%	117,2%
	>0,17 e <0,23	2433	101,6%	97,9%	98,7%	101,4%	96,5%	97,8%	101,4%	96,1%	97,9%	101,3%	95,8%	97,8%	97,7%	101,1%	101,0%	95,2%	97,4%	
	>0,23 e <0,26	2062	90,4%	112,4%	96,7%	89,5%	117,3%	90,5%	89,5%	120,3%	84,9%	88,7%	121,7%	83,0%	81,8%	90,1%	90,5%	123,9%	81,1%	
	≥0,26	1751	80,4%	128,8%	92,6%	78,1%	142,6%	80,7%	77,6%	152,2%	70,5%	77,9%	155,6%	66,3%	63,0%	78,6%	79,3%	160,2%	61,5%	
	Total	10000																		
CV=0,6	PnS	Frequência	CR=1			CR=2			CR=5			CR=10			CR=25			CR=50		
			WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N
	≤0,14	1727	120,5%	74,5%	111,0%	121,9%	64,5%	125,1%	122,0%	59,7%	133,1%	121,7%	58,0%	136,0%	138,6%	56,6%	120,9%	120,0%	56,1%	140,1%
	>0,14 e ≤0,17	2027	106,1%	89,5%	103,8%	106,6%	84,2%	107,9%	106,9%	81,6%	110,2%	107,0%	80,6%	111,1%	111,8%	79,8%	107,0%	106,9%	79,5%	112,3%
	>0,17 e <0,23	2433	98,3%	100,1%	98,5%	98,4%	99,6%	97,1%	98,4%	99,3%	96,2%	98,5%	99,1%	95,8%	95,6%	99,0%	98,6%	98,8%	98,9%	95,5%
	>0,23 e <0,26	2062	93,1%	109,8%	96,7%	92,5%	113,1%	91,3%	92,4%	114,6%	88,2%	92,7%	115,5%	87,5%	87,0%	92,9%	92,2%	116,8%	86,7%	
	≥0,26	1751	83,1%	125,7%	90,7%	81,9%	138,5%	80,4%	81,4%	144,9%	74,5%	81,4%	146,9%	72,1%	69,7%	81,6%	81,9%	148,8%	68,4%	
	Total	10000																		
CV=0,8	PnS	Frequência	CR=1			CR=2			CR=5			CR=10			CR=25			CR=50		
			WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N	WAIT	IDLE x N	OVER x N
	≤0,14	1727	120,8%	78,4%	114,4%	120,4%	70,2%	126,6%	119,6%	66,8%	131,5%	119,1%	66,0%	133,6%	135,5%	65,7%	118,3%	117,4%	65,5%	136,5%
	>0,14 e ≤0,17	2027	108,8%	87,8%	105,4%	109,3%	82,6%	110,3%	109,5%	80,6%	112,3%	109,5%	80,0%	113,1%	113,9%	79,6%	109,4%	109,1%	79,6%	114,3%
	>0,17 e <0,23	2433	98,6%	100,8%	98,9%	98,8%	101,4%	98,4%	98,9%	101,7%	98,3%	98,9%	101,5%	98,0%	97,5%	98,9%	98,9%	101,1%	97,3%	
	>0,23 e <0,26	2062	92,4%	108,4%	95,7%	92,4%	111,2%	91,2%	92,7%	112,6%	88,7%	92,9%	112,8%	88,9%	88,3%	93,1%	93,1%	113,1%	87,9%	
	≥0,26	1751	80,1%	124,3%	86,2%	79,7%	134,4%	74,4%	79,8%	138,0%	69,3%	80,1%	139,3%	67,6%	66,2%	80,8%	81,5%	140,8%	65,3%	

Fonte: elaborado pelo autor

Vale ressaltar que os valores constantes na última linha da tabela representam os custos médios quando os pacientes são tratados como homogêneos, sem segmentação em classes, ou  $Pn=20\%$  no caso estudado.

Também importante salientar que, sendo  $PnA$  e  $PnB$  variáveis discretas,  $PnS$  também o é, portanto as frequências não são idênticas nas distribuições.

A Tabela 4.3 contém a variação dos custos em relação aos custos médios, na forma de percentual, para todos os ambientes simulados. Observa-se uma grande amplitude dos indicadores em função de  $PnS$ . Como exemplo, para  $Cv=0,4$  e  $CR=50$ , o valor de  $IDLExN$  é reduzido em 51,4% para  $PnS<14\%$  e aumenta 60,2% para  $PnS\geq 26\%$ . Para  $OVERxN$  temos, respectivamente, aumento de 44,9% e redução de 38,5% em relação à média. Ainda no mesmo ambiente, o indicador  $WAIT$  varia entre um aumento de 22,2% e uma redução de 20,7%.

#### 4.4.2 Aplicação da Heurística Proposta

Conforme o método de pesquisa deste estudo, a cada solicitação de agendamento o algoritmo proposto ajusta os horários ainda não agendados de acordo com as equações 3 a 6. Os valores dos coeficientes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  e  $W$  que minimizam o  $TC$ , obtidos por meio de otimização com uso do *Solver* do *MS-Excel*, estão contemplados na Tabela 4.10 do Apêndice B.

Tabela 4.4 – Exemplo de ajuste dos horários de agendamento com aplicação da heurística proposta -  $Cv=0,8$  e  $CR=50$

Agendamento	Sequência de Chegadas (j)	Pnj	PnS	Ai									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inicial (Dome)	-	-	0,20	0,000	0,000	0,214	0,848	1,476	2,094	2,699	3,292	3,870	4,434
1º	5	0,05	0,19	0,000	0,000	0,037	0,670	1,476	2,261	2,884	3,491	4,080	4,651
2º	2	0,05	0,17	0,000	0,000	0,089	0,730	1,476	2,341	2,971	3,584	4,178	4,752
3º	9	0,35	0,19	0,000	0,000	0,082	0,713	1,476	2,300	2,938	3,584	4,178	4,858
4º	7	0,35	0,20	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	2,301	2,938	3,536	4,178	4,946
5º	4	0,35	0,22	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	2,138	2,938	3,509	4,178	4,998
6º	8	0,05	0,20	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	2,143	2,938	3,509	4,178	5,202
7º	3	0,35	0,22	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	2,030	2,938	3,509	4,178	5,243
8º	10	0,35	0,23	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	1,980	2,938	3,509	4,178	5,243
9º	1	0,05	0,22	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	1,992	2,938	3,509	4,178	5,243
10º	6	0,35	0,23	0,000	0,000	0,080	0,708	1,476	1,992	2,938	3,509	4,178	5,243

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 4.4 ilustra a evolução de uma sessão a cada iteração (solicitação de agendamento) na forma de ajustes dos horários ( $A_i$ ) para o ambiente com  $Cv=0,8$  e  $CR=50$ . O estágio inicial é formado pelos horários do cenário-base, montado com a regra *Dome*. Pode-se observar que no 1º agendamento  $j=5$ , portanto o horário  $A_5$  permanece inalterado ao longo da sessão. Já para o último agendamento, em que  $j=6$ , a posição  $A_6$  muda até o nono agendamento. O último agendamento não altera os horários, uma vez que apenas consiste no preenchimento do último horário remanescente. Conforme o algoritmo proposto, o horário  $A_1$  não se altera durante sua execução.

Uma vez aplicada a heurística a todos os ambientes delineados, fez-se um comparativo do custo total ( $TC$ ), que é o indicador a ser minimizado. A Tabela 4.5 mostra os valores iniciais e finais de  $TC$ , bem como o ganho em percentual. Todos os valores apresentaram significância quando submetidos a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni, com um intervalo de confiança de 95%. Observa-se que a aplicação da heurística permitiu ganho médio mais significativo para os valores de  $CR$  mais baixos. Também pode-se constatar que o ganho é maior para coeficientes de variação do tempo de serviço ( $Cv$ ) menores.

Tabela 4.5 – Resumo dos ganhos de  $TC$

<b>Cv</b>	<b>CR</b>	<b>TC Inicial</b>	<b>TC Final</b>	<b>Ganho</b>
<b>0,4</b>	<b>1</b>	0,929	0,873	5,94%
	<b>2</b>	1,237	1,203	2,73%
	<b>5</b>	2,058	2,029	1,38%
	<b>10</b>	3,305	3,249	1,69%
	<b>25</b>	6,802	6,678	1,82%
	<b>50</b>	12,396	12,208	1,52%
<b>0,6</b>	<b>1</b>	1,109	1,062	4,20%
	<b>2</b>	1,475	1,456	1,26%
	<b>5</b>	2,484	2,464	0,77%
	<b>10</b>	3,996	3,961	0,88%
	<b>25</b>	8,253	8,172	0,98%
	<b>50</b>	15,104	14,978	0,84%
<b>0,8</b>	<b>1</b>	1,302	1,256	3,54%
	<b>2</b>	1,746	1,724	1,27%
	<b>5</b>	2,957	2,932	0,84%
	<b>10</b>	4,773	4,743	0,61%
	<b>25</b>	9,922	9,871	0,51%
	<b>50</b>	18,252	18,169	0,46%

Fonte: elaborado pelo autor

Segmentando-se o *TC* por faixas de *PnS*, tomando como exemplo o ambiente com  $Cv=0,4$  e  $CR=1$ , o ganho de *TC* aumenta com aumento de *PnS*, conforme pode ser observado na Tabela 4.6. Constata-se, ainda, aumento do *WAIT* e redução de *IDLE* e *OVER*.

Tabela 4.6 – Variações dos indicadores de desempenho por faixa de *PnS* –  $Cv=0,4$  e  $CR=1$

<b>PnS</b>	<b>Frequência</b>	<b>WAIT</b>	<b>IDLE</b>	<b>OVER</b>	<b>TC</b>
≤0,14	1727	10,23%	-13,68%	-9,93%	-2,26%
>0,14 e ≤0,17	2027	14,36%	-15,10%	-13,94%	-4,01%
>0,17 e <0,23	2433	17,61%	-16,49%	-18,10%	-5,56%
≥0,23 e <0,26	2062	21,98%	-17,43%	-22,51%	-7,80%
≥0,26	1751	27,52%	-17,24%	-26,92%	-9,66%
<b>Totais</b>	<b>10000</b>	<b>17,58%</b>	<b>-16,36%</b>	<b>-18,36%</b>	<b>-5,94%</b>

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme a Tabela 4.11 do Apêndice C, estas tendências podem ser observadas na maioria dos cenários, porém são mais evidentes para valores de *Cv* e *CR* mais baixos.

Uma análise adicional pode ser elaborada com o efeito isolado dos quatro elementos da heurística, bem como o efeito do conjunto das equações que ajustam os horários anteriores a  $j$  ( $i < j$ ), ou posteriores a  $j$  ( $i > j$ ). A Tabela 4.7 resume estes valores e permite observar que, isoladamente, a Equação 5, que ajusta os horários adiante do horário que está sendo agendado ( $i > j$ ) para  $Pn > PnS$ , tem maior efeito na redução do *TC* na maioria dos ambientes simulados. Também pode-se notar um efeito mais significativo na combinação das equações que ajustam os horários para  $i > j$  (Equações 5 e 6) em relação a  $i < j$  (Equações 3 e 4), em todos os cenários. Estes números sugerem que a heurística é mais eficiente para ajuste dos horários adiante de  $j$ , especialmente quando o paciente que está sendo agendado tem uma probabilidade de *no-show* maior que a probabilidade da sessão no estágio em que se encontra ( $Pn > PnS$ ). É importante ressaltar que a soma dos efeitos não representa o total da variação de *TC*, uma vez que existe interação entre as variáveis do modelo.

Tabela 4.7 – Efeitos dos componentes da heurística no TC

Cv	Equações	CR=1	CR=2	CR=5	CR=10	CR=25	CR=50
0,4	3	-1,05%	-0,40%	0,00%	-0,18%	-0,28%	-0,16%
	4	-0,39%	-0,18%	-0,46%	-0,85%	-0,89%	-0,59%
	5	-4,27%	-1,67%	-0,92%	-1,00%	-1,18%	-1,10%
	6	-1,04%	-0,14%	0,49%	0,44%	0,27%	-0,05%
	3, 4	-1,31%	-0,55%	-0,46%	-0,96%	-1,04%	-0,70%
	5, 6	-4,89%	-2,18%	-1,11%	-1,11%	-1,26%	-1,23%
	3, 4, 5, 6	-5,94%	-2,73%	-1,38%	-1,69%	-1,82%	-1,52%
0,6	3	-0,82%	-0,33%	0,03%	0,02%	-0,09%	-0,10%
	4	-0,41%	-0,13%	-0,14%	-0,25%	-0,41%	-0,34%
	5	-2,83%	-0,27%	-0,30%	-0,49%	-0,60%	-0,49%
	6	-0,64%	-0,24%	-0,02%	-0,12%	0,11%	-0,03%
	3, 4	-1,13%	-0,46%	-0,12%	-0,24%	-0,48%	-0,40%
	5, 6	-3,21%	-0,75%	-0,66%	-0,78%	-0,73%	-0,66%
	3, 4, 5, 6	-4,20%	-1,26%	-0,77%	-0,88%	-0,98%	-0,84%
0,8	3	-0,85%	-0,47%	-0,03%	0,02%	-0,06%	-0,05%
	4	-0,52%	-0,16%	0,00%	-0,03%	-0,11%	-0,09%
	5	-1,90%	0,17%	-0,02%	-0,14%	-0,22%	-0,25%
	6	-0,76%	-0,52%	-0,63%	-0,37%	-0,18%	-0,12%
	3, 4	-1,22%	-0,55%	-0,04%	-0,02%	-0,15%	-0,13%
	5, 6	-2,50%	-0,56%	-0,75%	-0,60%	-0,43%	-0,41%
	3, 4, 5, 6	-3,54%	-1,27%	-0,84%	-0,61%	-0,51%	-0,46%

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 4.8 – Efeito da posição da primeira solicitação de agendamento no TC –  
Cv=0,4 e CR=1

j 1ª Solicitação	Frequência	Redução TC
1	985	-5,88%
2	1017	-6,37%
3	991	-7,75%
4	991	-7,59%
5	1016	-8,57%
6	1003	-7,52%
7	1010	-5,25%
8	1026	-4,34%
9	936	-4,37%
10	1025	-1,78%
<b>Totais</b>	<b>10000</b>	<b>-5,94%</b>

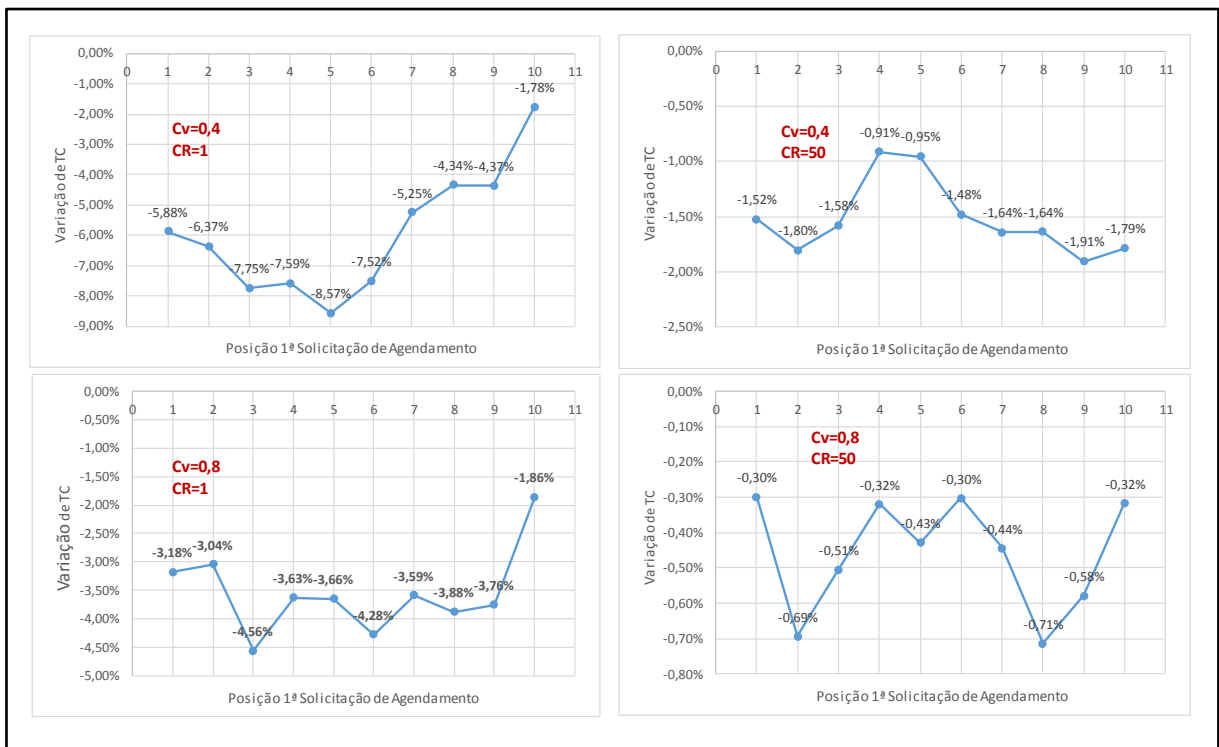
Fonte: elaborado pelo autor



Buscando analisar o impacto da sequência de agendamentos, foram levantadas as variações de  $TC$  para cada valor de  $j$  da primeira solicitação, as quais são apresentadas na Tabela 4.8, para o ambiente com  $Cv=0,4$  e  $CR=1$ . Observa-se valores maiores de ganho de  $TC$  para valores intermediários, enquanto nas extremidades os valores de ganho são menores.

Os gráficos da Figura 4.1 mostram os valores de ganho de  $TC$  em função do primeiro agendamento para as combinações com os valores mínimos e máximos de  $Cv$  e  $CR$ , ou seja,  $Cv=0,4$  e  $0,8$  e  $CR=1$  e  $50$ . Nota-se que os ganhos maiores de  $TC$  nas extremidades do ambiente com  $Cv=0,4$  e  $CR=1$  se repetem para  $Cv=0,8$  e  $CR=1$ , sugerindo influência da sequência de chegadas nestes cenários. Já nos ambientes com  $CR=50$  não se identifica um padrão para as variações de  $TC$ .

Figura 4.1 – Efeito da posição da primeira solicitação de agendamento no  $TC$



Fonte: elaborado pelo autor

Ainda com base nestes quatro cenários, e com o propósito de apenas proporcionar uma noção de grandeza da amplitude de variação dos indicadores dentro de cada ambiente, foram combinados valores de  $PnS$  e  $j$  do primeiro agendamento de forma a obter-se aproximadamente os 10% melhores e 10% piores desempenhos em termos de ganho de  $TC$ . Ressalta-se, novamente, que as frequências não são

idênticas, nem representam exatamente 10% das amostras, uma vez que se trata da combinação de variáveis discretas. Conforme demonstrado na Tabela 4.9, com exceção do ambiente com  $Cv=0,8$  e  $CR=50$ , pode-se constatar que pelo menos para uma faixa de cada cenário é possível obter-se ganho significativo de desempenho.

Tabela 4.9 – Amplitude da variação de  $TC$  por ambiente

Fatores Ambientais	PnS	j 1ª Solicitação	Frequência	Varição de TC
$Cv=0,4$ ; $CR=1$	$\leq 0,14$	1,2,7,8,9,10	1072	-1,47%
	$\geq 0,26$	1 a 6	1084	-12,44%
$Cv=0,4$ ; $CR=50$	$\leq 0,14$	3 a 8	1050	-0,96%
	$\geq 0,26$	1,2,3,8,9,10	1043	-2,26%
$Cv=0,8$ ; $CR=1$	$\leq 0,14$	1,2,7,8,9,10	1072	-1,92%
	$\geq 0,26$	3 a 8	1064	-6,29%
$Cv=0,8$ ; $CR=50$	$\leq 0,14$	3 a 8	1050	-0,26%
	$\geq 0,26$	1,2,3,4,9,10	1047	-0,58%

Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.5 Considerações finais

Na medida em que se intensificam a demanda e a exigência por qualidade de atendimento em serviços ambulatoriais, sistemas de agendamento se tornam um componente cada vez mais importante do setor de saúde.

Buscando balancear eficiência e nível de serviço, há décadas estudos são dedicados este tema. As incertezas inerentes a sistemas de agendamento têm estado no centro das pesquisas e, ao mesmo tempo em que trazem complexidade, abrem oportunidades de aprimoramento. Estas incertezas, quando utilizadas como critério para a classificação de pacientes, permitem desenhar modelos de melhor desempenho. Estes modelos, entretanto, na maioria das vezes não permitem ao paciente selecionar seu horário de preferência. Quando existe esta possibilidade, a escolha restringe-se a uma faixa de horários reservada à sua classe dentro da sessão.

Com o objetivo de aliar desempenho a flexibilidade na escolha de horários, este estudo propôs uma heurística para ajuste de agendamentos a cada solicitação de pacientes, divididos em duas classes de *no-show*, a qual foi aplicada em 18 cenários com diferentes fatores ambientais. Observou-se que a heurística se mostrou mais eficiente em valores mais baixos de  $Cv$  e  $CR$ , com uma redução média de custo total ( $TC$ ) variando de 0,46% a 5,94% entre os ambientes, validada mediante análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni.

Também constatou-se melhor desempenho em valores maiores de probabilidade de *no-show* da sessão ( $PnS$ ), concluindo-se que um maior número de pacientes da classe com maior probabilidade de *no-show* na sessão beneficia o sistema. Notou-se, ainda, que predominantemente a heurística implica um maior tempo de espera do paciente e uma redução na ociosidade e horas-extras do servidor.

Analisando-se separadamente os componentes da heurística, foi possível constatar que a equação que corrige os horários adiante do horário que está sendo solicitado, para o caso de  $Pn_j > PnS$ , tem maior peso no ganho de desempenho na maioria dos ambientes simulados.

Observou-se, também, influência significativa da posição da primeira solicitação na sequência de agendamentos, sem contudo identificar-se algum tipo de correlação com os fatores ambientais dos cenários simulados.

Entre as limitações desta pesquisa, destaca-se a abrangência de apenas uma faixa do amplo espectro de fatores ambientais mais comumente encontrados na literatura. Além das variações observadas em função de  $CR$  e  $Cv$ , certamente o número de pacientes por sessão ( $N$ ) pode apresentar influência significativa nos resultados, dada a distribuição binomial de chegada das classes de pacientes. Da mesma forma, apenas um fator de heterogeneidade foi utilizado, com apenas duas classes de pacientes, sendo que diversos estudos demonstram o grande impacto de outras variáveis, como média e coeficiente de variação de tempo de serviço, como critério de classificação de pacientes.

Como contribuição para estudos futuros, este trabalho abre espaço para o aperfeiçoamento da heurística proposta, bem como o desenho de novas heurísticas, uma vez que constatou-se ser possível ganhar desempenho sem perda de flexibilidade quanto à escolha de horários. A ampliação das faixas de valores para as variáveis, conforme apontado nas limitações deste trabalho, também configuram uma oportunidade para novos estudos.

Por fim, não somente a influência da posição da primeira solicitação de agendamento pode ser mais explorada, mas, de um modo mais abrangente, toda a sequência de agendamentos.

## APÊNDICE A – REGRA UNIVERSAL *DOME*

A regra universal *Dome*, proposta por Cayirli et al. (2012), tem como objetivo definir horários de agendamento ( $A_i$ ) em uma sessão de atendimento de modo a minimizar o custo total, formado pelos custos de espera do paciente e de ociosidade e horas-extras do servidor, cobrindo uma ampla gama de fatores ambientais.

Esta regra contém um ajuste dos tempos de serviço que considera os *no-shows* como atendimentos de tempo nulo, enquanto que os *walk-ins* são tratados como atendimentos com o dobro do tempo médio. Assim sendo, a média  $\mu$  e a variância  $\sigma$  dos tempos de serviços são corrigidos por meio das seguintes equações:

$$\mu' = (1 - Pn + Pw)\mu \quad (7)$$

$$\sigma'^2 = (1 - Pn + Pw)(\sigma^2 + (Pn - Pw)^2\mu^2) + Pn(1 - Pn + Pw)^2\mu^2 + Pw(2\sigma^2 + (1 + Pn - Pw)^2\mu^2) \quad (8)$$

Utilizando estas variáveis ajustadas, a regra *Dome* é aplicada mediante a equação abaixo:

$$A_i = \text{Máx}\{0, k(i - 1)\mu' - \sigma'\sqrt{i}.\pi\} \quad (2)$$

$$\text{Para } i = 1 \text{ a } N, \text{ sendo } \pi = \frac{(N+i)}{(N-1)}$$

O fator  $k$ , por sua vez, é obtido por meio da seguinte equação:

$$k = \left\{ 0,9973 - 0,103 \left[ 0,005765CR(1 - Pn) + (CR(1 - Pn))^{-0,3481} \right] - 0,10699[Cv^{1,257}] - 0,627 \left[ (N(1 - Pn))^{-0,8579} \right] - 0,007574 \left[ (|CR(1 - Pw) - 2,143|)^{0,9682} - 0,622CR(1 - Pw)] + 0,004855(CR^{0,8913}) \right\}^{-1,898} \quad (9)$$

A Equação 9 foi obtida mediante regressão não-linear simulando-se ambientes com o número de atendimentos por sessão ( $N$ ) variando de 5 a 25 e relação entre

custo de espera e custos do servidor ( $CR$ ) de 1 a 50. Já o coeficiente de variação do tempo de serviço variou de 0,2 a 1, enquanto que as probabilidades de *no-shows* ( $P_n$ ) e *walk-ins* ( $P_w$ ) consideradas variaram de 0 a 40%. Por tratar-se de regressão, estas faixas não podem ser extrapoladas na Equação 9.

**APÊNDICE B – COEFICIENTES DA HEURÍSTICA PROPOSTA**

Tabela 4.10 – Coeficientes da Heurística Proposta

Cv	CR	X1	Y1	Z1	W1	X2	Y2	Z2	W2	X3	Y3	Z3	W3	X4	Y4	Z4	W4
0,4	1	0,01735	0,01065	3,10915	0,10402	0,00000	-1,36111	-3,19233	0,07969	0,00000	-8,94599	-2,13213	-0,33993	0,02019	0,16318	1,65714	-0,13988
	2	0,15373	-0,87275	5,77681	0,07603	0,00013	-2,36210	-0,46216	0,05601	0,08910	-11,15281	3,32673	-0,20242	0,11612	0,12333	2,39594	-0,03558
	5	0,00004	-0,92940	0,15179	-0,01474	0,00001	-1,43790	-1,74721	-0,07617	0,07558	-0,73561	2,26591	-0,10465	0,13241	-7,56605	3,06496	-0,01468
	10	0,00053	-0,66815	0,40598	-0,11163	0,00002	-1,92720	-1,59753	-0,14040	0,10206	0,33951	2,14152	-0,09119	0,01576	-12,36446	2,06986	-0,02039
	25	0,00010	-2,26263	-0,65676	-0,13715	0,00048	-1,32397	0,13675	-0,15649	0,24628	0,97238	2,19803	-0,07630	0,01253	-19,39606	2,05414	-0,02618
0,6	50	0,00010	-1,20591	-0,96075	-0,14769	0,09638	-3,19179	10,65117	-0,23443	0,52346	1,52165	2,40731	-0,04755	0,00122	-10,35839	0,00000	0,67434
	1	-0,00007	0,09159	-0,45626	0,20421	0,00012	-0,47266	-0,85429	0,15139	0,00000	-4,58640	-2,39685	-0,30885	0,00243	0,32391	0,35035	-0,11603
	2	0,00000	6,34945	-2,74631	0,13602	0,00054	-9,62096	0,90776	0,09678	0,07193	-6,40838	2,85929	-0,07737	1,11699	-26,31092	5,46516	0,05822
	5	0,00190	-0,79126	2,35066	0,04428	0,00013	-3,33227	-0,49804	-0,00431	0,19970	-0,14534	2,62521	-0,02246	0,01659	-13,70572	2,25682	0,07460
	10	0,00031	0,34937	0,41068	-0,01764	0,00005	-1,13678	-1,03860	-0,07803	0,07903	0,61902	1,86054	-0,06068	0,00005	-7,86905	-0,76841	0,07896
0,8	25	0,00543	0,48392	1,73561	-0,11651	0,00037	-0,30995	-0,43480	-0,11878	0,17846	0,86909	2,11934	-0,07681	0,00265	-22,05279	1,19499	-0,00025
	50	0,00082	-0,14760	0,07078	-0,20634	0,09238	0,91300	2,79167	-0,13171	0,15950	1,06576	1,86042	-0,11014	0,00075	-7,44097	0,09412	0,03746
	1	-0,00018	0,01784	-0,01187	0,23286	0,00013	-0,59353	-0,80080	0,20119	0,00027	-4,29623	-0,03767	-0,26435	0,00898	0,45837	0,81871	-0,10729
	2	0,00004	-0,10883	0,05787	0,19451	0,00028	-3,64915	0,10064	0,15583	0,38585	-13,47667	3,98331	0,03667	0,19459	-4,70942	3,31707	0,14529
	5	0,00178	-0,29424	0,73907	0,06628	0,00002	-0,68906	-0,85250	-0,00210	0,11138	0,26952	2,12782	0,04537	0,00005	-6,87380	-0,72595	0,19404
0,8	10	0,00030	0,08974	0,01621	-0,00002	0,00008	-0,71976	-0,66060	-0,03046	0,05871	0,65323	1,65679	0,00424	0,00004	-5,74867	-1,03649	0,16442
	25	-0,00006	1,06643	-1,72991	-0,00470	0,00062	-0,42605	0,33549	-0,10059	0,04930	1,12997	1,51649	-0,02764	0,00013	-7,62881	-0,54304	0,11600
	50	-0,00003	1,13367	-1,77777	-0,08455	-0,00022	-0,42361	0,36725	-0,16498	0,65852	1,43830	2,58603	-0,04522	0,00019	-7,70037	-0,49948	0,09637

Fonte: elaborado pelo autor

## APÊNDICE C – INDICADORES DE DESEMPENHO POR FAIXA DE PnS

Tabela 4.11 – Variação dos Indicadores de Desempenho por Faixa de PnS

C=0,4	PnS	CR=1			CR=2			CR=5			CR=10			CR=25			CR=50								
		WAIT	IDLE	OVER	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC					
	1727	10,23%	-13,68%	-9,93%	-2,26%	0,20%	-4,76%	-2,73%	-1,52%	1,13%	-3,10%	-1,49%	-0,63%	2,44%	-4,52%	-2,04%	-1,05%	2,41%	-3,86%	-1,66%	-1,30%	1,33%	-2,17%	-0,90%	-0,88%
	2027	14,36%	-15,10%	-13,94%	-4,01%	3,13%	-6,74%	-5,87%	-2,03%	3,33%	-3,87%	-3,22%	-0,86%	4,59%	-3,96%	-3,23%	-1,27%	4,65%	-3,12%	-2,51%	-1,50%	2,72%	-2,14%	-1,70%	-1,36%
	2433	17,61%	-16,49%	-18,10%	-5,66%	5,10%	-7,23%	-8,50%	-2,37%	4,71%	-4,18%	-5,18%	-1,42%	5,68%	-3,94%	-4,99%	-1,88%	5,79%	-3,00%	-3,86%	-2,05%	3,63%	-1,92%	-2,50%	-1,65%
	2462	21,98%	-17,43%	-22,51%	-7,80%	7,53%	-8,10%	-12,61%	-3,62%	6,40%	-3,93%	-7,13%	-1,78%	7,22%	-3,13%	-6,03%	-1,82%	7,47%	-2,22%	-4,48%	-1,80%	4,63%	-1,40%	-2,90%	-1,47%
	1751	27,52%	-17,24%	-26,92%	-9,66%	10,99%	-7,64%	-16,49%	-4,20%	9,27%	-3,59%	-10,20%	-2,07%	9,60%	-2,90%	-9,24%	-2,33%	9,99%	-2,10%	-7,34%	-2,33%	5,82%	-1,51%	-5,52%	-2,11%
	10000	17,58%	-16,36%	-18,36%	-5,94%	4,88%	-7,26%	-8,84%	-2,73%	4,57%	-3,81%	-4,95%	-1,38%	5,57%	-3,47%	-4,62%	-1,69%	5,63%	-2,61%	-3,54%	-1,82%	3,44%	-1,71%	-2,34%	-1,52%
C=0,6	PnS	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC
	1727	4,89%	-10,83%	-7,78%	-1,83%	-4,24%	2,79%	1,61%	-1,51%	-4,19%	1,63%	0,84%	-1,23%	-2,34%	-0,95%	-0,47%	-1,14%	-0,80%	-1,82%	-0,87%	-1,04%	-1,17%	-1,11%	-0,52%	-0,72%
	2027	7,67%	-12,17%	-11,30%	-2,79%	-2,84%	0,63%	0,56%	-1,18%	-2,67%	0,68%	0,59%	-0,69%	-0,61%	-0,86%	-0,73%	-0,73%	1,31%	-1,30%	-1,10%	-0,76%	1,24%	-1,01%	-0,85%	-0,68%
	2433	9,39%	-13,46%	-14,89%	-4,20%	-1,78%	-0,60%	-0,71%	-1,20%	-1,59%	-0,20%	-0,25%	-0,73%	0,51%	-1,22%	-1,52%	-0,88%	2,73%	-1,47%	-1,85%	-1,01%	3,10%	-1,13%	-1,43%	-0,87%
	2462	11,74%	-14,63%	-18,41%	-5,46%	-0,69%	-1,67%	-2,45%	-1,44%	-0,38%	-0,60%	-0,96%	-0,64%	1,95%	-1,22%	-2,02%	-0,74%	4,26%	-1,37%	-2,32%	-0,98%	4,95%	-1,10%	-1,89%	-0,92%
	1751	15,18%	-14,29%	-22,13%	-6,64%	1,53%	-1,79%	-3,71%	-0,96%	1,41%	-0,92%	-2,24%	-0,60%	3,65%	-1,31%	-3,42%	-0,94%	6,24%	-1,26%	-3,50%	-1,13%	7,65%	-0,99%	-2,82%	-0,97%
	10000	9,38%	-13,42%	-14,91%	-4,20%	-1,85%	-0,65%	-0,77%	-1,26%	-1,71%	-0,20%	-0,24%	-0,77%	0,39%	-1,17%	-1,46%	-0,88%	2,48%	-1,39%	-1,76%	-0,98%	2,82%	-1,06%	-1,35%	-0,84%
C=0,8	PnS	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC	WAIT	IDLE	OVER	TC
	1727	0,94%	-7,50%	-5,46%	-2,13%	-8,92%	9,99%	6,08%	-2,20%	-8,23%	3,22%	3,22%	-1,45%	-6,50%	2,24%	1,24%	-1,01%	-3,98%	0,41%	0,22%	-0,49%	-3,61%	0,17%	0,09%	-0,31%
	2027	3,03%	-9,33%	-8,34%	-2,49%	-7,91%	6,63%	5,56%	-1,78%	-7,24%	3,37%	2,75%	-1,31%	-5,00%	1,25%	1,01%	-0,73%	-2,58%	-0,66%	-0,05%	-0,49%	-2,10%	-0,47%	-0,38%	-0,59%
	2433	4,51%	-10,46%	-11,64%	-3,46%	-6,52%	4,46%	5,27%	-1,04%	-6,07%	2,55%	3,08%	-0,36%	-3,81%	0,68%	0,83%	-0,47%	-1,50%	-0,35%	-0,45%	-0,56%	-0,73%	-0,47%	-0,58%	-0,55%
	2462	6,47%	-11,63%	-14,52%	-4,14%	-5,67%	3,14%	4,47%	-0,85%	-5,32%	1,52%	2,29%	-0,69%	-2,77%	0,15%	0,23%	-0,55%	-0,47%	-0,43%	-0,67%	-0,53%	0,44%	-0,35%	-0,37%	
	1751	8,40%	-11,89%	-19,24%	-5,71%	-4,13%	1,69%	3,69%	-0,42%	-3,77%	0,91%	2,26%	-0,21%	-0,96%	-0,11%	-0,29%	-0,35%	1,31%	-0,43%	-1,17%	-0,46%	2,51%	-0,42%	-1,17%	-0,45%
	10000	4,36%	-10,54%	-11,68%	-3,54%	-6,83%	4,35%	5,12%	-1,27%	-6,31%	2,31%	2,78%	-0,84%	-4,03%	0,58%	0,70%	-0,61%	-1,65%	-0,27%	-0,33%	-0,51%	-0,93%	-0,37%	-0,45%	-0,46%

Fonte: elaborado pelo autor

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadi-Javid, A., Jalali, Z., & Klassen, K. J. (2017). Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34.

Akhavizadegan, F., Ansarifard, J., & Jolai, F. (2017). A novel approach to determine a tactical and operational decision for dynamic appointment scheduling at nuclear medical center. *Computers & Operations Research*, 78, 267-277.

Bailey, N. T. (1952). A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments, with special reference to waiting-times. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 14(2), 185-199.

Berg, B. P., Denton, B. T., Erdogan, S. A., Rohleder, T., & Huschka, T. (2014). Optimal booking and scheduling in outpatient procedure centers. *Computers & Operations Research*, 50, 24-37.

Cayirli, T., & Veral, E. (2003). Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Production and Operations Management*, 12(4), 519-549.

Cayirli, T., & Yang, K. K. (2014). A universal appointment rule with patient classification for service times, no-shows, and walk-ins. *Service Science*, 6(4), 274-295.

Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2006). Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services. *Health Care Management Science*, 9(1), 47-58.

Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2008). Assessment of patient classification in appointment system design. *Production and Operations Management*, 17(3), 338-353.

Cayirli, T., Yang, K. K., & Quek, S. A. (2012). A universal appointment rule in the presence of no-shows and walk-ins. *Production and Operations Management*, 21(4), 682-697.

Creps, J., & Lotfi, V. (2017). A dynamic approach for outpatient scheduling. *Journal of Medical Economics*, 20(8), 786-798.

Deceuninck, M., Fiems, D., & De Vuyst, S. (2018). Outpatient scheduling with unpunctual patients and no-shows. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 195-207.

Erdogan, S. A., & Denton, B. (2013). Dynamic appointment scheduling of a stochastic server with uncertain demand. *INFORMS Journal on Computing*, 25(1), 116-132.



- Gocgun, Y., & Puterman, M. L. (2014). Dynamic scheduling with due dates and time windows: an application to chemotherapy patient appointment booking. *Health Care Management Science*, 17(1), 60-76.
- Hahn-Goldberg, S., Carter, M. W., Beck, J. C., Trudeau, M., Sousa, P., & Beattie, K. (2014). Dynamic optimization of chemotherapy outpatient scheduling with uncertainty. *Health Care Management Science*, 17(4), 379-392.
- Hong, T. S., Shang, P. P., Arumugam, M., & Yusuff, R. M. (2013). Use of simulation to solve outpatient clinic problems: a review of the literature. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 27-47.
- Huang, Y. L., & Bach, S. M. (2016). Appointment lead time policy development to improve patient access to care. *Applied Clinical Informatics*, 7(4), 954.
- Jiang, R., Shen, S., & Zhang, Y. (2017). Integer programming approaches for appointment scheduling with random no-shows and service durations. *Operations Research*, 65(6), 1638-1656.
- Klassen, K. J., & Rohleder, T. R. (1996). Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. *Journal of Operations Management*, 14(2), 83-101.
- Kong, Q., Lee, C. Y., Teo, C. P., & Zheng, Z. (2013). Scheduling arrivals to a stochastic service delivery system using copositive cones. *Operations Research*, 61(3), 711-726.
- Kuiper, A., Kemper, B., & Mandjes, M. (2015). A computational approach to optimized appointment scheduling. *Queueing Systems*, 79(1), 5-36.
- Lee, S. J., Heim, G. R., Sriskandarajah, C., & Zhu, Y. (2018). Outpatient Appointment Block Scheduling Under Patient Heterogeneity and Patient No-Shows. *Production and Operations Management*, 27(1), 28-48.
- Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2014). Sequencing appointments for service systems using inventory approximations. *Manufacturing & Service Operations Management*, 16(2), 251-262.
- Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2015). Appointment scheduling with limited distributional information. *Management Science*, 61(2), 316-334.
- Morikawa, K., & Takahashi, K. (2017). Scheduling appointments for walk-ins. *International Journal of Production Economics*, 190, 60-66.
- Parizi, M. S., & Ghate, A. (2016). Multi-class, multi-resource advance scheduling with no-shows, cancellations and overbooking. *Computers & Operations Research*, 67, 90-101.

Qi, J. (2016). Mitigating delays and unfairness in appointment systems. *Management Science*, 63(2), 566-583.

Salzarulo, P. A., Mahar, S., & Modi, S. (2016). Beyond patient classification: Using individual patient characteristics in appointment scheduling. *Production and Operations Management*, 25(6), 1056-1072.

Schuetz, H. J., & Kolisch, R. (2013). 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*, 206(1), 401-423.

Tsai, P. F. J., & Teng, G. Y. (2014). A stochastic appointment scheduling system on multiple resources with dynamic call-in sequence and patient no-shows for an outpatient clinic. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 427-436.

Walter, S. D. (1973). A comparison of appointment schedules in a hospital radiology department. *British Journal of Preventive & Social Medicine*, 27(3), 160.

Wang, J., Chen, Y. F., & Xu, M. (2018). Optimization and approximation methods for dynamic appointment scheduling with patient choices. *Computers & Operations Research*, 92, 65-76.

Xiao, G., Dong, M., Li, J., & Sun, L. (2017). Scheduling routine and call-in clinical appointments with revisits. *International Journal of Production Research*, 55(6), 1767-1779.

Zacharias, C., & Pinedo, M. (2014). Appointment Scheduling with No-Shows and Overbooking. *Production and Operations Management*, 23(5), 788-801.



## 5 REGRAS DE AGENDAMENTO COM CLASSIFICAÇÃO DE PACIENTES EM SISTEMAS DE AGENDAMENTO AMBULATORIAIS: APLICAÇÃO EM CLASSIFICAÇÃO DE PERÍODOS DA SESSÃO DE ATENDIMENTO

### RESUMO

**Objetivo:** este estudo buscou considerar a heterogeneidade associada a períodos da sessão de atendimento em sistemas de agendamento de serviços de saúde ambulatoriais, com o objetivo de ganhar desempenho sem perda da liberdade de escolha de horários por parte do paciente.

**Método de pesquisa:** o *no-show* foi identificado na literatura como um fator ambiental que apresenta, em muitos casos, diferentes probabilidades em função do período da sessão. Foram simulados 72 cenários com diferentes fatores ambientais, com sessões divididas em dois períodos com combinações de diferentes taxas de *no-show* por período. Três regras de agendamento para classificação de pacientes, selecionadas da literatura, foram aplicadas, adotando como métrica de desempenho o custo total (*TC*), composto de custos de espera do paciente e utilização do servidor. Como teste de significância dos resultados, foi aplicada a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni.

**Resultados:** com validação mediante o teste de significância proposto, constatou-se que em 54 dos 72 cenários houve melhora de desempenho, com ganho médio de *TC* de 2,26%, o qual variou de 0% a 9,54%. Observou-se que este ganho cresce à medida que aumenta a diferença entre as probabilidades de *no-show* dos períodos da sessão.

**Conclusões:** a aplicação das regras de agendamento para classificação de pacientes proporcionou ganho de desempenho significativo para uma parte das combinações de fatores ambientais analisadas, ao mesmo tempo em que manteve a flexibilidade na escolha de horários. A ampliação das faixas dos fatores como a inclusão de diferentes fontes de heterogeneidade são alternativas interessantes para novos estudos, assim como o desenvolvimento de heurísticas para sessões heterogêneas.

**Originalidade/valor:** na literatura sobre sistemas de agendamento o uso da heterogeneidade tem foco na classificação de pacientes, implicando perda de flexibilidade na escolha de horários. Neste estudo utilizou-se a heterogeneidade associada ao período da sessão de atendimento, permitindo ganhos de desempenho sem imposição de restrições de horários para pacientes.

**Palavras-chave:** Serviços de Saúde, Saúde, Sistemas de Agendamento, Simulação, Classificação de Pacientes.

### 5.1 Introdução

Serviços de saúde ambulatoriais têm apresentado constante aumento de demanda, impulsionado por fatores como foco em medicina preventiva e crescimento e envelhecimento populacionais. Ao mesmo tempo este crescimento de demanda tem sido acompanhado de maior exigência quanto ao nível de serviço, em um contexto de forte competição e pressão por custos cada vez menores.

Com o objetivo de conciliar eficiência no uso de recursos com qualidade de atendimento, sistemas de agendamento em serviços ambulatoriais são objeto de estudo desde a década de 1950, quando o trabalho pioneiro de Bailey (1952) realizou os primeiros experimentos buscando confrontar tempo de espera do paciente com ocupação do servidor.

Entre as fontes de complexidade em sistemas de agendamento, a incerteza das variáveis envolvidas merece destaque. Pacientes com diferentes tempos de serviço e probabilidades de *no-show*, por exemplo, são desafios que impulsionam a literatura sobre o tema. Em muitos estudos esta heterogeneidade é convertida em oportunidade de melhora de desempenho dos seus modelos, na medida em que é estruturada em forma de classificação de pacientes. Nos sistemas de agendamento simultâneos, onde atribui-se horários aos pacientes somente após recebidas todas as solicitações, as características dos pacientes são utilizadas na predição de variáveis, influenciando as decisões acerca de sequências e horários de agendamento. Já nos sistemas sequenciais, onde cada paciente recebe um horário no momento da solicitação, a heterogeneidade também pode ser aplicada na definição de janelas de horários reservadas para cada classe de pacientes. Observa-se, deste modo, que o uso da classificação de pacientes leva à restrição total ou parcial da liberdade de escolha de horário dos pacientes. Vale ressaltar que esta liberdade é considerada um importante componente da qualidade no atendimento (WANG; CHEN; XU, 2018).

Como os dados do paciente são conhecidos somente após a solicitação de agendamento, o uso da sua heterogeneidade encontra limitações (CAYIRLI; VERAL, 2003). Buscando ganho de desempenho na heterogeneidade e mantendo a liberdade de escolha de horários por parte do paciente, este estudo considerou a heterogeneidade associada a períodos da sessão de atendimento. Mais especificamente, procurou responder à seguinte pergunta de pesquisa:

- Como a heterogeneidade associada a períodos da sessão de atendimento pode ser utilizada para obtenção de ganho de desempenho em um sistema de

agendamento do tipo sequencial com horários pré-definidos, sem distinção de horários para classes de pacientes?

Foi identificada na literatura a heterogeneidade de períodos da sessão com base em *no-show* de pacientes. Para sua utilização em sistemas de agendamento, foram aplicadas três regras de agendamento desenvolvidas para classificação de pacientes, baseadas no estudo de Cayirli e Yang (2014), e comparados com regras para pacientes homogêneos. O estudo contou com a simulação de 72 cenários com 10.000 sessões cada, construídos com diferentes fatores ambientais, sendo o desempenho medido em função do custo total (*TC*), composto dos custos de espera do paciente e utilização do servidor. Foi considerado um sistema de agendamento sequencial de um estágio com servidor único, em que os pacientes selecionam um horário de atendimento no momento da solicitação. Tendo a pontualidade dos pacientes como premissa, as sessões foram divididas em dois períodos, compostos por combinações de duas classes de *no-show*, com suas respectivas probabilidades.

Como resultado, constatou-se um ganho de *TC* de 2,26% na média dos 72 cenários, variando de 0% a 9,54%. Observou-se também que este ganho cresce à medida que aumenta a diferença entre taxas de *no-show* entre os períodos da sessão.

As combinações possíveis entre fatores ambientais implicam um grande número de cenários, sendo que esta pesquisa cobre apenas parte deste universo. Ao mesmo tempo em que isto se configura como uma limitação, também se mostra como oportunidade para estudos futuros. Dado que as regras de agendamento aqui aplicadas foram concebidas para heterogeneidade de pacientes, o desenvolvimento de regras específicas para a heterogeneidade de períodos também se torna uma alternativa para novas pesquisas acerca de sistemas de agendamento.

O restante deste estudo se divide em revisão teórica, método de pesquisa, resultados e considerações finais, constantes nos itens 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5, respectivamente.

## **5.2 Revisão de literatura**

Cayirli e Veral (2003) realizaram uma minuciosa revisão de literatura sobre sistemas de agendamento, a qual tem sido considerada referência em grande parte

da teoria sobre o tema. Com base nesta revisão o presente estudo considera um **sistema de agendamento** como o conjunto de decisões referentes a regras de agendamento, classificação de pacientes e ajustes para *no-shows* e *walk-ins*. Quanto às **regras de agendamento**, são compostas do número de pacientes em cada horário (tamanho do bloco) e do intervalo entre horários.

Este capítulo aborda a heterogeneidade de fatores ambientais e como ela é aplicada na classificação de pacientes. Também explora o *no-show* como fator de heterogeneidade adotado para os experimentos deste estudo.

### 5.2.1 Heterogeneidade e Classificação de Pacientes

Muitos estudos acerca de sistemas de agendamento ambulatorial adotam a premissa de homogeneidade dos pacientes, ou seja, fatores ambientais como tempos de serviço e taxas de *no-show* têm probabilidades idênticas para todos os atendimentos. Entretanto uma parte significativa da teoria assume heterogeneidade dos pacientes, o que permite dividi-los em classes e buscar algum ganho de desempenho com base nesta classificação, usualmente na forma de sequenciamento e definição de intervalos entre agendamentos (CAYIRLI; VERAL, 2003; CAYIRLI; VERAL; ROSEN, 2006; CAYIRLI; VERAL; ROSEN, 2008; ZACHARIAS; PINEDO, 2014). Assim como no estudo pioneiro de Walter (1973), muitos modelos classificam os pacientes com base em tempos de serviço, observando melhor desempenho quando a sua variância é sequenciada em ordem crescente (KLASSEN; ROHLEDER, 1996; MAK; RONG; ZHANG, 2015; SALZARULO; MAHAR; MODI, 2016). A taxa de *no-show* é outro fator de classificação de pacientes com grande incidência nos modelos da literatura (BERG; DENTON; ERDOGAN; ROHLEDER; HUSCHKA, 2014; AKHAVIZADEGAN; ANSARIFAR; JOLAI, 2017; CREPS; LOFTI, 2017; PARIZI; GHATE, 2016).

Em sistemas de agendamento simultâneo os horários são definidos somente após recebidas todas as solicitações dos pacientes (KUIPER; KEMPER; MANDJES, 2015). Nestes casos a heterogeneidade pode ser plenamente utilizada para aprimorar o desempenho do sistema. Entretanto, os pacientes não têm liberdade de escolha de seus horários e devem aguardar todas as solicitações de agendamento para obter esta informação. Huang e Bach (2016) e Deceuninck et al. (2018) são exemplos de modelos simultâneos. No primeiro faz-se uma distinção entre pacientes novos e

pacientes de retorno, enquanto no segundo a pontualidade dos pacientes é o critério de classificação.

Em oposição aos sistemas de agendamento simultâneos, nos agendamentos sequenciais os horários são definidos a cada solicitação de agendamento (KUIPER; KEMPER; MANDJES, 2015). Nestes casos, quando há classificação de pacientes, os modelos usualmente definem este horário com base nesta classificação, não havendo liberdade de escolha por parte do paciente. Esta abordagem é utilizada nas pesquisas de Jiang et al. (2017) e Lee et al. (2018). Em ambos os tempos de serviço e taxas de *no-show* são as heterogeneidades utilizadas como critérios de classificação.

Em outros casos de agendamento sequencial, entretanto, a heterogeneidade é utilizada para definir períodos da sessão destinadas a cada classe de pacientes. Estes períodos são sequenciados de modo a melhorar o desempenho do sistema. Nestes modelos o paciente tem, portanto, liberdade de escolha, porém restrita à faixa de horário correspondente à classe em que se enquadra. Gocgun e Puterman (2014) reservam diferentes períodos da sessão para pacientes novos e de retorno. Outro exemplo é o estudo de Schuetz e Kolisch (2013), que classifica os pacientes por tempo de serviço e probabilidade de *no-show*.

Entre os estudos de sistemas de agendamento sequenciais com janelas para classes de pacientes, Cayirli e Yang (2014) é um dos mais abrangentes, tanto por contemplar uma extensa gama de fatores ambientais como por avaliar um grande número de combinações de sequências para estas janelas. Destaca-se também por avaliar o desempenho do sistema sob três diferentes regras de agendamento. Além disso, o estudo utiliza abordagem de simulação, adotando heurísticas para estas regras. Conforme Ahmadi-Javid et al. (2017), o emprego de heurísticas em sistemas de agendamento é frequente devido à complexidade analítica de se tratar, simultaneamente, o sequenciamento e a definição de horários de pacientes. Deste modo, simulações não demandam simplificações que, em muitos casos, levam os estudos a cenários pouco realistas.

Com base neste tópico da revisão de literatura, constata-se que a atenção reside sobre a heterogeneidade relativa aos pacientes. Não foram identificados estudos em que o sistema de agendamento tenha como base de classificação a heterogeneidade entre períodos da sessão, independentemente das características do paciente.



### 5.2.2 *No-Show* e Classificação de Períodos

Entre os fatores ambientais utilizados para caracterizar a heterogeneidade em sistemas de agendamento, o *no-show* é coberto por uma extensa teoria. A revisão de literatura sistemática de Dantas et al. (2018) acerca de *no-shows* em serviços de saúde agendados concentra uma série de artigos que apontam suas causas, analisando variáveis relacionadas e quantificando seus impactos. Grande parte destas variáveis está associada ao paciente e características como idade (MENENDEZ; RING, 2015; PENG; ERDEM; SHI; MASEK; WOODBRIDGE, 2016; TORRES; ROTHBERG; GARB; OGUNNEYE; ONYEMA; HIGGINS, 2015) e condição socioeconômica (FARID; ALAPONT; 1993; MILLER; CHAE; PETERSON; KO, 2015; TRAEGER; O'CLEIRIGH; SKEER; MAYER; SAFREN, 2012) surgem como relevantes. Embora não associado ao paciente, mas conhecido somente no momento da solicitação de agendamento, o tempo entre a solicitação do agendamento e a data efetivamente agendada também figura entre os principais fatores que influenciam o *no-show* (BUSH; VEMULAKONDA; CORBETT; CHIANG, 2014; ZAILINAWATI; NG; NIK-SHERINA; 2006).

Ainda que não significativo em todos os estudos que o contemplam, o horário do agendamento é uma variável correlacionada ao *no-show* em um número expressivo de pesquisas. Não estando vinculado ao paciente ou qualquer outro dado dependente da solicitação de agendamento, o *no-show* associado ao horário ou período da sessão pode ser caracterizado como um fator de heterogeneidade possível de ser utilizado no momento da construção da agenda, em um sistema sequencial, sem demandar janelas para classes dentro da sessão ou qualquer outra restrição à liberdade de escolha de horário por parte do paciente. Deste modo, obtém-se uma classificação de períodos.

Por tratar-se de uma variável binária, os modelos de predição do *no-show* são usualmente obtidos por meio de regressão logística, sendo o *odds ratio* o indicador associado à sua probabilidade de ocorrência. Um *odds ratio* de 2,5 para um período A em relação a um período B, por exemplo, significa que a probabilidade de *no-show* do período A é 2,5 vezes maior do que a do período B. A Tabela 5.1 aponta alguns estudos em que os horários ou períodos de agendamento se mostraram significativos quanto ao *no-show*, compreendendo o *odds ratio* e as taxas de *no-show*. Traz, ainda,

os respectivos critérios de divisão de períodos da sessão e o período de maior probabilidade de *no-show*.

Tabela 5.1 – Estudos com Análise de *No-Show* por Período da Sessão de Atendimento  
*NI = não identificado*

Estudo	Odds Ratio	Taxas de <i>No-Show</i>	Períodos Analisados	Período de Maior <i>No-Show</i>
Chariatte et al 2007	1,25	NI	Manhã/Tarde	Manhã
Cohen et al 2005	1,03	28,3 a 36,5%	7-9h/9-14h/14-20h	14-20h
Cohen et al 2007	1,67	22,6 a 42,9%	8 às 19h, em intervalos de 1h	19-20h
Cohen et al 2008	1,06 a 1,16	26,4 a 31,3%	13-16h/demais períodos	13-16h
Goldbart et al 2009	1,45 e 2,19	28,7 a 44,1%	8-15h/15-16-h/16-19h	15-16h
Huang e Hanauer 2014	0,86	NI	Manhã/Tarde	Manhã
Kalb et al 2012	1,25 a 1,64	8 a 12%	8-10:45h/11-14:45h/15-18h	15-18h
Kempny et al 2016	1,13	NI	Manhã/Tarde	Tarde
King et al 1995	1,1	12 a 13%	Manhã/Tarde	Tarde
McLeod et al 2015	0,861	NI	<10h/10-12h/12-14h/14-16h/>16h	<10h
Peng et al 2016	1,0713	NI	Manhã/Tarde	Manhã
Ross et al 1995	1,36	NI	Manhã/Tarde	Tarde
Storrs et al 2016	0,75 a 0,95	7,7 a 10,6%	8-9:30h/9:30-11h/12-13:30h/13:30-15h/16-17:30h/17:30-19h	17:30-19h

Fonte: elaborado pelo autor

### 5.3 Método de pesquisa

Entre as vantagens do uso de simulação em processos ambulatoriais, Hong et al. (2013) destacam a possibilidade de se representar situações complexas sem a necessidade de simplificação de premissas, obtendo-se assim modelos mais próximos da realidade. Para o desenvolvimento deste estudo foi delineado um experimento utilizando simulação de eventos discretos.

#### 5.3.1 Delineamento do Experimento

Neste estudo considerou-se pontualidade, tanto do servidor como dos pacientes. Ainda como premissas, os cenários adotaram um único servidor e um estágio de serviço em um sistema de blocos individuais, o que significa somente um paciente atendido em cada horário agendado. Obedecendo um sistema sequencial, os horários são atribuídos aos pacientes no momento da solicitação. Os pacientes selecionam livremente um horário disponível na agenda, sendo que a partir desta seleção o mesmo não pode ser alterado.

Os cenários delineados são formados por sessões com 20 atendimentos ( $N=20$ ). Para os tempos de serviço, adotou-se distribuição lognormal independente com coeficientes de variação ( $Cv$ ) de 0,4, 0,6 e 0,8. A média dos tempos de serviço ( $\mu$ ) foi considerada como 1, para efeitos de simplificação, e cada ambiente simulado contou com 10.000 sessões de atendimento.

Quanto aos custos do servidor e o custo de espera dos pacientes, foram considerados valores de relação ( $CR$ ) de 2, 5 e 10. Um valor de  $CR=5$ , por exemplo, significa que o custo do servidor tem um peso cinco vezes maior que o custo de espera do paciente.

A probabilidade de *no-show* foi o fator ambiental escolhido para caracterizar a heterogeneidade no estudo, devido à maior incidência na literatura. As sessões foram divididas em dois períodos (A e B) com o mesmo número de atendimentos, ou seja, 10 pacientes por período ( $N_A=N_B=10$ ), com diferentes probabilidades de *no-show* para cada período. Adotou-se taxas de *no-shows* ( $Pn$ ) médias de 15% e 30%, compostas por combinações das taxas de *no-show* do período correspondente aos primeiros 10 pacientes da sessão ( $Pn_A$ ) e do período correspondente aos 10 últimos pacientes ( $Pn_B$ ). Para todas as probabilidades de *no-show* adotou-se distribuição binomial independente. Dada a complexidade de modelagem, *walk-ins* (pacientes não agendados) foram desconsiderados neste estudo, portanto a taxa de *walk-ins* ( $Pw$ ) é de 0% para todos os cenários. A combinação destes fatores ambientais, resumidos na Tabela 5.2, gerou um total de 72 ambientes para simulação.

Tabela 5.2 – Fatores Ambientais do Experimento

Fator	Valores
N	20
NA-NB	10-10
Cv	0,4 - 0,6 - 0,8
Pn	15% - 30%
PnA-PnB	5%-25% - 25%-5% - 10%-20% - 20%-10% - 20%-40% - 40%-20% - 25%-35% - 35%-25%
Pw	0%
CR	2 - 5 - 10

Fonte: elaborado pelo autor

### 5.3.2 Avaliação de Desempenho

Para avaliar o desempenho do experimento, adotou-se o indicador de custo total ( $TC$ ), formado pelos seguintes componentes:

- *WAIT*: representa o tempo médio de espera dos pacientes, obtido pela diferença entre o horário de início do serviço e o horário do agendamento. Para o cálculo desta média, considera-se apenas os pacientes atendidos, excluindo-se os *no-shows*;
- *IDLE*: é o tempo em que o servidor permanece ocioso ao longo da sessão, desde o seu início até o término agendado, independentemente do término de atendimento do último paciente, dividido pelo número de pacientes atendidos em toda a sessão;
- *OVER*: é o tempo requerido para atender pacientes, além do horário agendado para término da sessão, dividido pelo total de pacientes atendidos em toda a sessão.

Estes três indicadores de tempo são, portanto, medidos por paciente atendido.

O equilíbrio entre estes indicadores pode ser estimado de modo subjetivo pelo decisor com base nos valores relativos dos custos por de espera do paciente ( $C_p$ ), custo de ociosidade do servidor ( $C_d$ ) e custo de horas-extras do servidor ( $C_o$ ). Estes três custos são medidos por unidade de tempo.

Neste estudo combinou-se  $C_p$  e  $C_o$  em uma única variável por meio da relação  $C_o/C_d$  fixada em 1,5, valor comumente adotado quanto à proporção entre horas regulares e horas-extras. Desta maneira, o custo total esperado ( $TC$ ) do sistema por paciente, que é a variável a ser minimizada no modelo, pode ser representado pela Equação 1.

$$TC = (WAIT)C_p + [(IDLE) + 1,5(OVER)]C_d \quad (1)$$

A relação  $C_d/C_p$  forma a variável  $CR$ , citada no item 5.3.1.

### 5.3.3 Teste de Significância

Como os ganhos de *TC* têm por base comparativos de médias em cada cenário, torna-se necessário um teste de significância. Sendo as regras aplicadas sobre um mesmo conjunto de dados simulados para cada ambiente, obtém-se um perfil longitudinal. Deste modo adotou-se como técnica a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni, com intervalo de confiança de 95%.

#### 5.3.4 Aplicação de Regras de Agendamento para Classificação de Pacientes na Classificação de Períodos

O objetivo deste estudo consiste em melhorar o desempenho de um sistema de agendamento quando são identificados diferentes fatores ambientais entre os períodos de uma sessão de atendimento. Esta diferença entre períodos equivale à segregação de períodos para diferentes classes de pacientes, encontrada em alguns trabalhos na teoria acerca de sistemas de agendamento com classificação de pacientes heterogêneos. O modelo sequencial de Cayirli e Yang (2014) classifica pacientes conforme seus fatores ambientais e reserva períodos para cada classe dentro das sessões. São consideradas heurísticas diferentes para cada período, buscando ganho no custo total (*TC*) em comparação com sistemas sem classificação, nos quais os pacientes são considerados homogêneos. Além disso, o trabalho inclui duas regras comumente empregadas na prática com a finalidade de ampliar seus comparativos de desempenho. Considerando uma ampla gama de fatores ambientais e premissas mais realistas, este estudo foi adotado como referência para as regras de agendamento simuladas nesta pesquisa.

É importante ressaltar as diferenças entre os objetivos destes trabalhos. Cayirli e Yang (2014) buscam comparar sistemas com e sem classificação de pacientes, reservando ou não períodos da sessão para diferentes classes e, conseqüentemente aplicando ou não heurísticas diferentes para cada período. Já neste estudo, considera-se que existem fatores naturalmente distintos para cada período, permitindo uma classificação de períodos. O que se busca são ganhos de desempenho neste contexto, também mediante aplicação de regras de agendamento distintas por período. O Quadro 5.1 contempla um comparativo das principais características dos trabalhos.

Quadro 5.1 – Comparativo entre estudo de Cayirli e Yang (2014) e esta pesquisa

Item	Cayirli e Yang, 2014		Esta Pesquisa		
Objetivos	Ganho de desempenho mediante classificação de pacientes		Ganho de desempenho mediante classificação de períodos da sessão		
	Obter uma regra de agendamento universal (bom desempenho em todos os ambientes)		Identificar a melhor regra de agendamento para cada ambiente		
Fonte de Heterogeneidade	Pacientes		Períodos da sessão		
Comparativo	Períodos com fatores ambientais distintos	vs.	Períodos com fatores ambientais idênticos	vs.	Períodos com fatores ambientais distintos
	Regras de agendamento distintas para cada período		Regra de agendamento única para os períodos		Regra de agendamento única para os períodos
Escolha de horário	Restrições de períodos para classes de pacientes		Paciente escolhe qualquer horário livre na agenda		

Fonte: elaborado pelo autor

Conforme Cayirli e Yang (2014), não existem na literatura regras de agendamento que apresentem bom desempenho em todos os ambientes comumente estudados. Deste modo, seu trabalho também possui como objetivo o desenho de uma regra universal, com desempenho satisfatório em todo o espectro de cenários do estudo. Quanto ao presente trabalho, para cada ambiente comparou-se a melhor regra sem classificação com a melhor regra com classificação.

As regras de agendamento com e sem classificação de pacientes do estudo de Cayirli e Yang (2014), adotadas para a classificação de períodos neste trabalho, contam com um ajuste de média ( $\mu'$ ) e variância ( $\sigma'^2$ ) dos tempos de serviço em função das probabilidades de *no-shows* e *walk-ins*, o qual está detalhado no Apêndice A. Para as regras IBFI, 2BEG e *Dome* os pacientes são homogêneos, portanto considera-se a taxa média de no-show ( $P_n$ ) para cálculo de  $\mu'$  e  $\sigma'^2$ . Já para o caso de classificação de períodos (regras IBFI PC, 2BEG PC e *Dome* PC) adota-se  $P_{n_A}$  e  $P_{n_B}$ . Estas regras são descritas a seguir. Conforme já mencionado, considera-se  $P_w=0$  para todos os cenários.

### 5.3.3.1 Regras IBFI e IBFI PC

A regra IBFI é composta de blocos individuais e intervalos fixos, iguais à média do tempo de serviço. Deste modo os pacientes são agendados em horários individuais, com um mesmo intervalo entre atendimentos. Os horários de agendamento ( $A_i$ ) seguem a Equação 1.

$$A_1 = 0; \quad \text{para } i > 1, A_i = A_{i-1} + \mu' \quad (1)$$

Para a regra IBFI PC, que permite a classificação de períodos, considera-se a Equação 2.

$$A_1 = 0; \text{ para } i = 1 \text{ a } N_A + 1, A_i = A_{i-1} + \mu'_A; \text{ para } i = N_A + 2 \text{ a } N, A_i = A_{i-1} + \mu'_B \quad (2)$$

### 5.3.3.2 Regras 2BEG e 2BEG PC

A regra 2BEG, proposta por Bailey (1952) é similar à regra IBFI, porém com dois pacientes agendados para o início da sessão, conforme a Equação 3.

$$A_1 = A_2 = 0; \quad \text{para } i > 2, A_i = A_{i-1} + \mu' \quad (3)$$

A regra 2BEG PC, que considera a classificação de períodos, segue a Equação 4.

$$A_1 = A_2 = 0; \text{ para } i = 2 \text{ a } N_A + 1, A_i = A_{i-1} + \mu'_A; \text{ para } i = N_A + 2 \text{ a } N, A_i = A_{i-1} + \mu'_B \quad (4)$$

### 5.3.3.3 Regras *Dome* e *Dome* PC

Na regra *Dome*, representada pela Equação 5, os intervalos entre agendamentos são menores no início da sessão, expandindo-se em sua parte intermediária e sendo novamente reduzidos à medida que o fim da sessão se aproxima, assumindo, deste modo, um “formato de domo”.

$$A_i = \text{Máx}\{0, k(i-1)\mu' - \sigma'\sqrt{i}.\pi\} \quad (5)$$

$$\text{Para } i = 1 \text{ a } N, \text{ sendo } \pi = \frac{(N+i)}{(N-1)}$$

Para a classificação de períodos, a regra *Dome* PC considera-se as Equações 6 e 7.

$$A_i = \text{Máx}\{0, k_A(i-1)\mu'_A - \sqrt{i\sigma_A'^2 \cdot \pi}\} \quad (6)$$

Para  $i = 1$  a  $N_A$

$$A_i = k_A(N_A)\mu'_A + k_B(i - N_A - 1)\mu'_B - \sqrt{(N_A + 1)\sigma_A'^2 + (i - N_A - 1)\sigma_B'^2} \cdot \pi \quad (7)$$

Para  $i = N_A + 1$  a  $N$

Para ambas as equações,  $\pi = \frac{(N+i)}{(N-1)}$ .

Tanto na regra *Dome* como na *Dome PC* o valor de  $k$  é obtido em função dos fatores ambientais, conforme descrito no Apêndice B.

O Quadro 5.2 contempla as regras utilizadas no comparativo proposto.

A modelagem dos ambientes, elaborada em *MS-Excel*, consta no Apêndice D.

Quadro 5.2 – Regras utilizadas no comparativo proposto

Regras sem classificação	Regras com classificação
IBFI	IBFI PC
2BEG	2BEG PC
Dome	Dome PC

Fonte: elaborado pelo autor

## 5.4 Resultados

Esta seção analisa os resultados dos experimentos realizados considerando o método proposto, no qual regras de agendamento para classificação de pacientes são aplicadas na classificação de períodos da sessão de atendimento. O fator escolhido para caracterizar a heterogeneidade dos períodos, permitindo a sua classificação, foi a taxa de *no-show*.

Para ilustrar a aplicação das heurísticas de agendamento com e sem classificação, a Tabela 5.3 apresenta os horários da agenda ( $A_i$ ) das seis regras consideradas no estudo, para o ambiente com  $Cv=0,4$ ,  $Pn=15\%$ ,  $Pn_A=5\%$ ,  $Pn_B=25\%$  e  $CR=2$ .



Tabela 5.3 – Horários calculados com as regras utilizadas no comparativo proposto -  $Cv=0,4$ ,  $Pn=15\%$ ,  $Pn_A=5\%$ ,  $Pn_B=25\%$  e  $CR=2$

Regra	Ai																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
IBFI	0	0,850	1,700	2,550	3,400	4,250	5,100	5,950	6,800	7,650	8,500	9,350	10,200	11,050	11,900	12,750	13,600	14,450	15,300	16,150
IBFI PC	0	0,950	1,900	2,850	3,800	4,750	5,700	6,650	7,600	8,550	9,500	10,250	11,000	11,750	12,500	13,250	14,000	14,750	15,500	16,250
2BEG	0	0,000	0,850	1,700	2,550	3,400	4,250	5,100	5,950	6,800	7,650	8,500	9,350	10,200	11,050	11,900	12,750	13,600	14,450	15,300
2BEG PC	0	0,000	0,950	1,900	2,850	3,800	4,750	5,700	6,650	7,600	8,550	9,300	10,050	10,800	11,550	12,300	13,050	13,800	14,550	15,300
Dome	0	0,346	1,296	2,262	3,235	4,210	5,187	6,164	7,139	8,113	9,084	10,053	11,020	11,984	12,945	13,903	14,858	15,810	16,759	17,705
Dome PC	0	0,570	1,667	2,777	3,892	5,011	6,131	7,250	8,368	9,485	10,600	11,423	12,247	13,069	13,890	14,709	15,526	16,341	17,153	17,963

Fonte: elaborado pelo autor

Os valores obtidos de custo total ( $TC$ ) para cada regra, em todos os ambientes simulados, constam nas Tabelas 5.5 e 5.6 do Apêndice C.

A Tabela 5.4 resume os ganhos percentuais de  $TC$ , quando comparados, para cada ambiente, o menor  $TC$  entre as regras sem classificação e o menor  $TC$  entre as regras com classificação de períodos. Pode-se observar que na maior parte dos cenários houve melhora no indicador, sendo que a média obtida foi de 2,15%, variando entre -1,28% e 9,54%. Após submetidos a análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni, com um intervalo de confiança de 95%, três valores não obtiveram significância, os quais estão precedidos de um asterisco na tabela.

Quando há queda de desempenho com a classificação, pode-se assumir que o ganho é nulo, uma vez que o decisor pode manter a regra sem classificação de períodos. Deste modo, considerando-se tanto os valores negativos quanto os sem significância como 0%, a média dos ganhos de  $TC$  foi de 2,26%, percebendo-se melhora em 54 dos 72 cenários.

Adotando os mesmos critérios, o Quadro 5.3 demonstra a melhor regra para a classificação de períodos em cada ambiente, onde houve ganho de desempenho.

Observa-se o predomínio da regra *Dome* PC, com alguma relevância para a regra 2BEG PC à medida que aumenta o valor de  $CR$ . Em apenas um cenário a regra IBFI PC superou as demais.

Tabela 5.4 – Variação de *TC* com a classificação de períodos

<b>Cv</b>	<b>Pn</b>	<b>PnA</b>	<b>PnB</b>	<b>CR=2</b>	<b>CR=5</b>	<b>CR=10</b>
0,4	0,15	0,05	0,25	6,66%	-0,25%	1,33%
0,4	0,15	0,25	0,05	3,21%	5,31%	7,84%
0,4	0,15	0,1	0,2	1,48%	-1,23%	-0,42%
0,4	0,15	0,2	0,1	*0,24%	2,29%	1,88%
0,4	0,3	0,2	0,4	7,45%	3,52%	0,61%
0,4	0,3	0,4	0,2	5,21%	7,14%	9,16%
0,4	0,3	0,25	0,35	2,03%	0,55%	-1,27%
0,4	0,3	0,35	0,25	1,10%	2,09%	3,12%
0,6	0,15	0,05	0,25	4,63%	1,11%	1,14%
0,6	0,15	0,25	0,05	2,41%	4,00%	9,54%
0,6	0,15	0,1	0,2	1,46%	-0,43%	-0,32%
0,6	0,15	0,2	0,1	0,27%	0,99%	3,87%
0,6	0,3	0,2	0,4	5,29%	2,97%	-0,47%
0,6	0,3	0,4	0,2	*0,30%	0,60%	3,17%
0,6	0,3	0,25	0,35	1,55%	0,32%	-0,62%
0,6	0,3	0,35	0,25	-1,28%	-0,47%	0,75%
0,8	0,15	0,05	0,25	3,96%	1,33%	-0,33%
0,8	0,15	0,25	0,05	2,00%	4,33%	6,12%
0,8	0,15	0,1	0,2	1,26%	-0,05%	-0,85%
0,8	0,15	0,2	0,1	0,27%	1,59%	2,32%
0,8	0,3	0,2	0,4	3,99%	1,32%	-0,38%
0,8	0,3	0,4	0,2	3,15%	4,75%	5,64%
0,8	0,3	0,25	0,35	1,06%	*0,02%	-0,52%
0,8	0,3	0,35	0,25	0,54%	1,35%	1,94%
<b>Médias</b>				<b>2,43%</b>	<b>1,80%</b>	<b>2,22%</b>
<b>Médias - positivos/significativos</b>				<b>2,46%</b>	<b>1,90%</b>	<b>2,43%</b>
<b>Média geral</b>				<b>2,15%</b>		
<b>Média geral - positivos/significativos</b>				<b>2,26%</b>		

\*valores sem significância estatística

Fonte: elaborado pelo autor

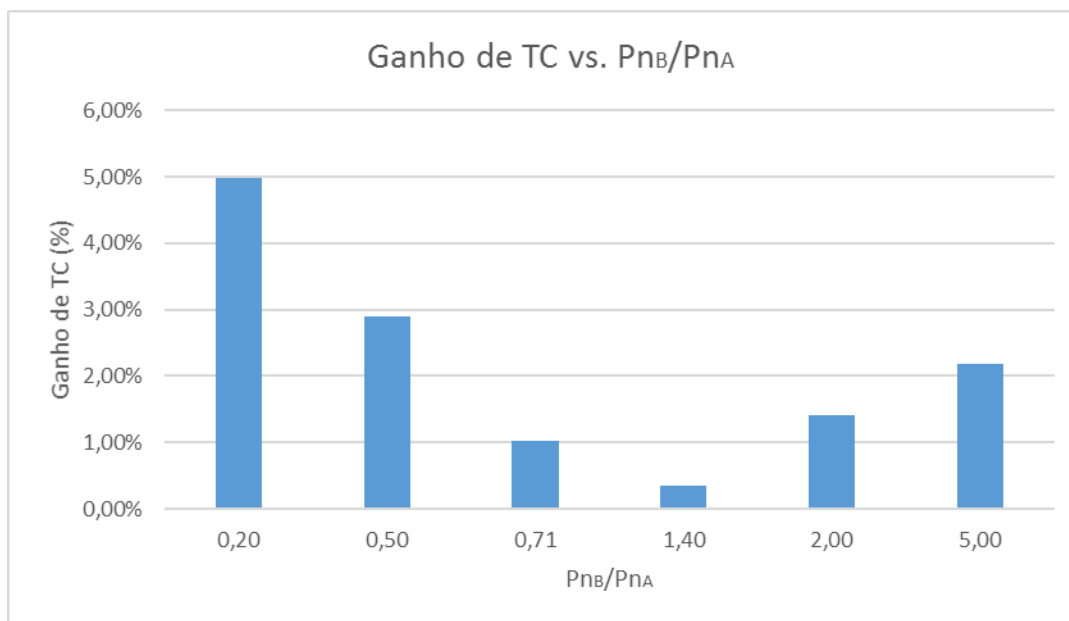
Outra análise dos ganhos pode ser feita com base na amplitude das taxas de *no-show* de cada ambiente, na forma da razão  $Pn_B/Pn_A$ , conforme demonstrado no Gráfico 5.1. Nesta análise, assim como no comparativo de *TC*, os valores que não passaram no teste de significância foram considerados como 0%. Entretanto, foram mantidos os valores negativos, dado o objetivo de se observar a relação entre parâmetros.

Quadro 5.3 – Regras de melhor desempenho para classificação em cada ambiente

<b>Cv</b>	<b>Pn</b>	<b>PnA</b>	<b>PnB</b>	<b>CR=2</b>	<b>CR=5</b>	<b>CR=10</b>
0,4	0,15	0,05	0,25	IBFI PC	IBFI	2BEG PC
0,4	0,15	0,25	0,05	Dome PC	Dome PC	Dome PC
0,4	0,15	0,1	0,2	Dome PC	2BEG	2BEG
0,4	0,15	0,2	0,1	Dome	Dome PC	2BEG PC
0,4	0,3	0,2	0,4	Dome PC	Dome PC	2BEG PC
0,4	0,3	0,4	0,2	Dome PC	Dome PC	Dome PC
0,4	0,3	0,25	0,35	Dome PC	2BEG PC	2BEG
0,4	0,3	0,35	0,25	Dome PC	Dome PC	Dome PC
0,6	0,15	0,05	0,25	Dome PC	Dome PC	2BEG PC
0,6	0,15	0,25	0,05	Dome PC	2BEG PC	Dome PC
0,6	0,15	0,1	0,2	Dome PC	Dome	Dome
0,6	0,15	0,2	0,1	Dome PC	2BEG PC	Dome PC
0,6	0,3	0,2	0,4	Dome PC	2BEG PC	2BEG
0,6	0,3	0,4	0,2	Dome	2BEG PC	2BEG PC
0,6	0,3	0,25	0,35	Dome PC	2BEG PC	Dome
0,6	0,3	0,35	0,25	Dome	Dome	2BEG PC
0,8	0,15	0,05	0,25	Dome PC	Dome PC	2BEG
0,8	0,15	0,25	0,05	Dome PC	Dome PC	Dome PC
0,8	0,15	0,1	0,2	Dome PC	Dome	Dome
0,8	0,15	0,2	0,1	Dome PC	Dome PC	Dome PC
0,8	0,3	0,2	0,4	Dome PC	2BEG PC	2BEG
0,8	0,3	0,4	0,2	Dome PC	Dome PC	Dome PC
0,8	0,3	0,25	0,35	Dome PC	2BEG	Dome
0,8	0,3	0,35	0,25	Dome PC	Dome PC	Dome PC
<b>Frequência</b>	<b>IBFI PC</b>			<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>2BEG PC</b>			<b>0</b>	<b>7</b>	<b>6</b>
	<b>Dome PC</b>			<b>20</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
<b>Frequência geral</b>	<b>IBFI PC</b>			<b>1</b>		
	<b>2BEG PC</b>			<b>13</b>		
	<b>Dome PC</b>			<b>40</b>		

Fonte: elaborado pelo autor

Pode-se constatar que o ganho de  $TC$  aumenta à medida que se amplia a diferença entre  $Pn_A$  e  $Pn_B$ , ou seja, quando a razão  $Pn_B/Pn_A$  se afasta de 1. Nota-se também que os ganhos de  $TC$  são maiores quando  $Pn_B < Pn_A$  ( $Pn_B/Pn_A < 1$ ) caso em que a taxa de *no-show* da segunda metade da sessão é inferior à da primeira.

Gráfico 5.1 – Ganho de  $TC$  em função de  $P_{NB}/P_{NA}$ 

Fonte: elaborado pelo autor

## 5.5 Considerações finais

Serviços de saúde ambulatoriais estão inseridos em um contexto de alta demanda e pressão por redução de custos, ao mesmo tempo em que crescem as exigências de qualidade. Neste sentido, sistemas de agendamento desempenham um papel relevante, na medida em que conectam eficiência e nível de serviço.

Muitos estudos têm se dedicado a compreender as incertezas que caracterizam sistemas de agendamento com o objetivo de aprimorar seu desempenho. Entre estas incertezas, figuram características de pacientes, as quais permitem classificá-los conforme sua heterogeneidade e customizar os modelos. O uso da classificação de pacientes, entretanto, usualmente vem acompanhado de alguma perda na flexibilidade de escolha de horário, a qual é um importante componente da qualidade neste tipo de serviço. Nos casos em que ainda é permitida alguma escolha, as opções de horários ficam restritas a determinadas janelas dentro da sessão, definidas de acordo com a classe do paciente.

Este estudo buscou considerar a heterogeneidade associada a períodos da sessão. Mais precisamente, identificou na literatura casos em que a probabilidade de *no-show* varia ao longo de uma sessão de atendimento, independentemente das

características de pacientes, permitindo a montagem de uma agenda com classificação de períodos, em vez de pacientes, com liberdade de escolha de horários.

Foram simulados 72 cenários com diferentes fatores ambientais e combinações de períodos com diferentes taxas de *no-show* dentro de uma mesma sessão. Para avaliação de desempenho, o qual teve o custo total (*TC*) como métrica, foram aplicadas três regras de agendamento desenvolvidas para classificação de pacientes. Após análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni, constatou-se ganho de *TC* em 54 dos 72 cenários, com média de 2,26%, o qual variou de 0% a 9,54%. Observou-se, ainda, que os ganhos aumentam à medida que cresce a diferença entre taxas de *no-show* entre os períodos da sessão, especialmente quando a taxa de *no-show* do primeiro período é superior à do segundo. Por último, constatou-se que a regra *Dome PC* foi a que apresentou melhor desempenho para a classificação de períodos na maior parte dos cenários analisados.

A combinação de fatores ambientais e suas amplitudes, identificados na literatura, implicam um grande número de cenários possíveis. Uma das limitações deste estudo é a cobertura de apenas uma parcela destes cenários. A aplicação de apenas uma variável para caracterizar a heterogeneidade, o *no-show*, também pode ser considerada como uma limitação.

Quanto a contribuição para estudos futuros, além da extensão da abrangência de cenários e inclusão de novos fatores de heterogeneidade, novas regras podem ser desenvolvidas especificamente para classificação de períodos, dado que as heurísticas aqui aplicadas foram originalmente concebidas para a classificação de pacientes.

## APÊNDICE A – AJUSTES DE MÉDIA E VARIÂNCIA

O trabalho de Cayirli e Yang (2014), referência para as regras com classificação deste estudo, contém um ajuste dos tempos de serviço que considera os *no-shows* como atendimentos de tempo nulo, enquanto que os *walk-ins* são tratados como atendimentos com o dobro do tempo médio. Assim sendo, a média  $\mu$  e a variância  $\sigma$  dos tempos de serviços são corrigidos por meio das seguintes equações:

$$\mu' = (1 - Pn + Pw)\mu \quad (8)$$

$$\sigma'^2 = (1 - Pn + Pw)(\sigma^2 + (Pn - Pw)^2\mu^2) + Pn(1 - Pn + Pw)^2\mu^2 + Pw(2\sigma^2 + (1 + Pn - Pw)^2\mu^2) \quad (9)$$

## APÊNDICE B – OBTENÇÃO DO FATOR K DAS REGRAS *DOMe* E *DOMe PC*

O fator  $k$ , utilizado nas regras *Dome* e *DomePC*, é obtido por meio da Equação 10.

$$k = \left\{ 0,9973 - 0,103 \left[ 0,005765CR(1 - Pn) + (CR(1 - Pn))^{-0,3481} \right] - 0,10699[Cv^{1,257}] - 0,627 \left[ (N(1 - Pn))^{-0,8579} \right] - 0,007574 \left[ (|CR(1 - Pw) - 2,143|)^{0,9682} - 0,622CR(1 - Pw)] + 0,004855(CR^{0,8913}) \right\}^{-1,898} \quad (10)$$

Esta equação foi obtida por meio de regressão não-linear simulando-se ambientes com o número de atendimentos por sessão ( $N$ ) variando de 5 a 25 e relação entre custo de espera e custos do servidor ( $CR$ ) de 1 a 50. Já o coeficiente de variação do tempo de serviço variou de 0,2 a 1, enquanto que as probabilidades de *no-shows* ( $Pn$ ) e *walk-ins* ( $Pw$ ) consideradas variaram de 0 a 40%. Por tratar-se de regressão, estas faixas não podem ser extrapoladas na Equação 10.

## APÊNDICE C – VALORES DE CUSTO TOTAL (TC)

Tabela 5.5 – Valores de *TC* para as regras sem classificação de períodos

Cv	Pn	PnA	PnB	Dome			IBFI			2BEG		
				CR=2	CR=5	CR=10	CR=2	CR=5	CR=10	CR=2	CR=5	CR=10
0,4	0,15	0,05	0,25	1,303	1,918	2,741	1,333	1,884	2,803	1,718	2,144	2,854
0,4	0,15	0,25	0,05	1,353	2,188	3,268	1,470	2,348	3,810	1,475	2,080	3,086
0,4	0,15	0,1	0,2	1,284	1,934	2,800	1,339	1,957	2,988	1,618	2,079	2,846
0,4	0,15	0,2	0,1	1,302	2,053	3,026	1,394	2,167	3,456	1,486	2,026	2,926
0,4	0,3	0,2	0,4	1,576	2,391	3,531	1,593	2,368	3,659	1,798	2,417	3,448
0,4	0,3	0,4	0,2	1,619	2,586	3,921	1,749	2,927	4,892	1,674	2,562	4,042
0,4	0,3	0,25	0,35	1,530	2,346	3,495	1,580	2,437	3,864	1,698	2,360	3,464
0,4	0,3	0,35	0,25	1,543	2,427	3,659	1,645	2,695	4,445	1,627	2,416	3,731
0,6	0,15	0,05	0,25	1,638	2,395	3,457	1,676	2,398	3,602	1,953	2,522	3,472
0,6	0,15	0,25	0,05	1,870	3,051	4,589	1,985	3,289	5,461	1,935	2,912	4,541
0,6	0,15	0,1	0,2	1,622	2,405	3,499	1,687	2,477	3,795	1,878	2,486	3,501
0,6	0,15	0,2	0,1	1,825	2,921	4,323	1,919	3,117	5,115	1,921	2,810	4,292
0,6	0,3	0,2	0,4	1,836	2,781	4,111	1,860	2,793	4,347	2,012	2,772	4,039
0,6	0,3	0,4	0,2	1,630	2,694	4,193	1,812	2,825	4,513	1,827	2,702	4,160
0,6	0,3	0,25	0,35	1,794	2,749	4,098	1,852	2,866	4,557	1,936	2,749	4,104
0,6	0,3	0,35	0,25	1,588	2,640	4,118	1,747	2,691	4,265	1,810	2,643	4,032
0,8	0,15	0,05	0,25	2,013	2,936	4,256	2,044	2,959	4,484	2,245	2,990	4,233
0,8	0,15	0,25	0,05	2,033	3,109	4,622	2,163	3,394	5,446	2,131	3,095	4,703
0,8	0,15	0,1	0,2	1,985	2,927	4,269	2,049	3,025	4,653	2,185	2,968	4,273
0,8	0,15	0,2	0,1	2,000	3,018	4,457	2,110	3,246	5,139	2,132	3,025	4,513
0,8	0,3	0,2	0,4	2,119	3,208	4,754	2,145	3,246	5,082	2,256	3,177	4,713
0,8	0,3	0,4	0,2	2,148	3,360	5,090	2,290	3,784	6,274	2,204	3,418	5,443
0,8	0,3	0,25	0,35	2,086	3,185	4,759	2,149	3,346	5,342	2,194	3,180	4,823
0,8	0,3	0,35	0,25	2,106	3,271	4,944	2,225	3,609	5,917	2,179	3,308	5,189

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 5.6 – Valores de *TC* para as regras com classificação de períodos

Cv	Pn	PnA	PnB	Dome PC			IBFI PC			2BEG PC		
				CR=2	CR=5	CR=10	CR=2	CR=5	CR=10	CR=2	CR=5	CR=10
0,4	0,15	0,05	0,25	1,245	1,935	2,825	1,216	1,889	3,010	1,469	1,932	2,705
0,4	0,15	0,25	0,05	1,309	1,969	2,844	1,424	2,106	3,243	1,533	2,032	2,864
0,4	0,15	0,1	0,2	1,265	1,958	2,868	1,298	1,985	3,130	1,516	2,002	2,812
0,4	0,15	0,2	0,1	1,298	1,979	2,876	1,395	2,082	3,227	1,542	2,040	2,871
0,4	0,3	0,2	0,4	1,458	2,285	3,457	1,489	2,409	3,943	1,608	2,290	3,427
0,4	0,3	0,4	0,2	1,535	2,379	3,562	1,660	2,601	4,170	1,666	2,403	3,631
0,4	0,3	0,25	0,35	1,499	2,337	3,514	1,554	2,495	4,064	1,629	2,333	3,508
0,4	0,3	0,35	0,25	1,526	2,365	3,545	1,625	2,568	4,140	1,649	2,375	3,585
0,6	0,15	0,05	0,25	1,562	2,368	3,485	1,589	2,438	3,852	1,759	2,381	3,418
0,6	0,15	0,25	0,05	1,825	2,843	4,108	1,930	3,034	4,875	1,955	2,796	4,197
0,6	0,15	0,1	0,2	1,599	2,416	3,549	1,659	2,520	3,955	1,800	2,441	3,510
0,6	0,15	0,2	0,1	1,820	2,844	4,126	1,909	3,016	4,862	1,952	2,782	4,166
0,6	0,3	0,2	0,4	1,739	2,692	4,058	1,784	2,867	4,672	1,855	2,689	4,081
0,6	0,3	0,4	0,2	1,625	2,696	4,172	1,798	2,692	4,183	1,867	2,678	4,029
0,6	0,3	0,25	0,35	1,766	2,740	4,124	1,835	2,934	4,767	1,880	2,740	4,173
0,6	0,3	0,35	0,25	1,608	2,671	4,145	1,759	2,652	4,141	1,850	2,657	4,002
0,8	0,15	0,05	0,25	1,933	2,897	4,273	1,974	3,017	4,755	2,092	2,900	4,247
0,8	0,15	0,25	0,05	1,992	2,961	4,339	2,116	3,169	4,925	2,152	3,005	4,426
0,8	0,15	0,1	0,2	1,960	2,929	4,305	2,027	3,074	4,817	2,124	2,943	4,309
0,8	0,15	0,2	0,1	1,995	2,970	4,354	2,103	3,156	4,913	2,161	3,005	4,412
0,8	0,3	0,2	0,4	2,034	3,136	4,730	2,088	3,345	5,438	2,130	3,135	4,811
0,8	0,3	0,4	0,2	2,080	3,201	4,804	2,203	3,477	5,601	2,179	3,248	5,028
0,8	0,3	0,25	0,35	2,064	3,180	4,784	2,140	3,423	5,562	2,151	3,187	4,913
0,8	0,3	0,35	0,25	2,094	3,227	4,849	2,203	3,488	5,629	2,189	3,255	5,030

Fonte: elaborado pelo autor



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi-Javid, A., Jalali, Z., & Klassen, K. J. (2017). Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34.
- Akhavizadegan, F., Ansarifard, J., & Jolai, F. (2017). A novel approach to determine a tactical and operational decision for dynamic appointment scheduling at nuclear medical center. *Computers & Operations Research*, 78, 267-277.
- Bailey, N. T. (1952). A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments, with special reference to waiting-times. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 14(2), 185-199.
- Berg, B. P., Denton, B. T., Erdogan, S. A., Rohleder, T., & Huschka, T. (2014). Optimal booking and scheduling in outpatient procedure centers. *Computers & Operations Research*, 50, 24-37.
- Bush, R., Vemulakonda, V., Corbett, S., & Chiang, G. (2014). Can we predict a national profile of non-attendance pediatric urology patients: a multi-institutional electronic health record study. *Informatics in Primary Care*, 21(3), 132.
- Cayirli, T., & Veral, E. (2003). Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Production and Operations Management*, 12(4), 519-549.
- Cayirli, T., & Yang, K. K. (2014). A universal appointment rule with patient classification for service times, no-shows, and walk-ins. *Service Science*, 6(4), 274-295.
- Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2006). Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services. *Health Care Management Science*, 9(1), 47-58.
- Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2008). Assessment of patient classification in appointment system design. *Production and Operations Management*, 17(3), 338-353.
- Chariatte, V., Michaud, P. A., Berchtold, A., Akre, C., & Suris, J. C. (2007). Missed appointments in an adolescent outpatient clinic: descriptive analyses of consultations over 8 years. *Swiss Medical Weekly*, 137(47-48), 677-681.
- Cohen, A. D., Dreiherr, J., Vardy, D. A., & Weitzman, D. (2008). Nonattendance in a dermatology clinic—a large sample analysis. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 22(10), 1178-1183.

Cohen, A. D., Goldbart, A. D., Levi, I., Shapiro, J., & Vardy, D. A. (2007). Health provider factors associated with nonattendance in pediatric dermatology ambulatory patients. *Pediatric Dermatology*, 24(2), 113-117.

Cohen, A. D., Kaplan, D. M., Shapiro, J., Levi, I., & Vardy, D. A. (2005). Health provider determinants of nonattendance in pediatric otolaryngology patients. *The Laryngoscope*, 115(10), 1804-1808.

Creps, J., & Lotfi, V. (2017). A dynamic approach for outpatient scheduling. *Journal of Medical Economics*, 20(8), 786-798.

Dantas, L. F., Fleck, J. L., Oliveira, F. L. C., & Hamacher, S. (2018). No-shows in appointment scheduling—a systematic literature review. *Health Policy*, 122(4), 412-421.

Deceuninck, M., Fiems, D., & De Vuyst, S. (2018). Outpatient scheduling with unpunctual patients and no-shows. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 195-207.

Farid, B. T., & Alapont, E. (1993). Patients who fail to attend their first psychiatric outpatient appointment: Non-attendance or inappropriate referral?. *Journal of Mental Health*, 2(1), 81-83.

Gocgun, Y., & Puterman, M. L. (2014). Dynamic scheduling with due dates and time windows: an application to chemotherapy patient appointment booking. *Health Care Management Science*, 17(1), 60-76.

Goldbart, A. D., Dreiherr, J., Vardy, D. A., Alkrinawi, S., & Cohen, A. D. (2009). Nonattendance in pediatric pulmonary clinics: an ambulatory survey. *BMC Pulmonary Medicine*, 9(1), 12.

Hong, T. S., Shang, P. P., Arumugam, M., & Yusuff, R. M. (2013). Use of simulation to solve outpatient clinic problems: a review of the literature. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 27-47.

Huang, Y. L., & Bach, S. M. (2016). Appointment lead time policy development to improve patient access to care. *Applied Clinical Informatics*, 7(4), 954.

Huang, Y., & Hanauer, D. A. (2014). Patient no-show predictive model development using multiple data sources for an effective overbooking approach. *Applied Clinical Informatics*, 5(03), 836-860.

Jiang, R., Shen, S., & Zhang, Y. (2017). Integer programming approaches for appointment scheduling with random no-shows and service durations. *Operations Research*, 65(6), 1638-1656.

- Kalb, L. G., Freedman, B., Foster, C., Menon, D., Landa, R., Kishfy, L., & Law, P. (2012). Determinants of appointment absenteeism at an outpatient pediatric autism clinic. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics, 33*(9), 685-697.
- Kempny, A., Diller, G. P., Dimopoulos, K., Alonso-Gonzalez, R., Uebing, A., Li, W., ... & Gatzoulis, M. A. (2016). Determinants of outpatient clinic attendance amongst adults with congenital heart disease and outcome. *International Journal of Cardiology, 203*, 245-250.
- King, A., David, D., Jones, H. S., & O'Brien, C. (1995). Factors affecting non-attendance in an ophthalmic outpatient department. *Journal of the Royal Society of Medicine, 88*(2), 88.
- Klassen, K. J., & Rohleder, T. R. (1996). Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. *Journal of Operations Management, 14*(2), 83-101.
- Kuiper, A., Kemper, B., & Mandjes, M. (2015). A computational approach to optimized appointment scheduling. *Queueing Systems, 79*(1), 5-36.
- Lee, S. J., Heim, G. R., Sriskandarajah, C., & Zhu, Y. (2018). Outpatient Appointment Block Scheduling Under Patient Heterogeneity and Patient No-Shows. *Production and Operations Management, 27*(1), 28-48.
- Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2015). Appointment scheduling with limited distributional information. *Management Science, 61*(2), 316-334.
- McLeod, H., Heath, G., Cameron, E., Debelle, G., & Cummins, C. (2015). Introducing consultant outpatient clinics to community settings to improve access to paediatrics: an observational impact study. *BMJ Qual Saf, 24*(6), 377-384.
- Menendez, M. E., & Ring, D. (2015). Factors associated with non-attendance at a hand surgery appointment. *Hand, 10*(2), 221-226.
- Miller, A. J., Chae, E., Peterson, E., & Ko, A. B. (2015). Predictors of repeated "no-showing" to clinic appointments. *American Journal of Otolaryngology, 36*(3), 411-414.
- Parizi, M. S., & Ghate, A. (2016). Multi-class, multi-resource advance scheduling with no-shows, cancellations and overbooking. *Computers & Operations Research, 67*, 90-101.
- Peng, Y., Erdem, E., Shi, J., Masek, C., & Woodbridge, P. (2016). Large-scale assessment of missed opportunity risks in a complex hospital setting. *Informatics for Health and Social Care, 41*(2), 112-127.
- Ross, J. D., Mclver, A., Blakely, A., Dalrymple, J., Peacock, W., & Wallis, C. (1995). Why do patients default from follow-up at a genitourinary clinic? a multivariate analysis. *Sexually Transmitted Infections, 71*(6), 393-395.

Salzarulo, P. A., Mahar, S., & Modi, S. (2016). Beyond patient classification: Using individual patient characteristics in appointment scheduling. *Production and Operations Management, 25*(6), 1056-1072.

Schuetz, H. J., & Kolisch, R. (2013). 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, 206*(1), 401-423.

Storrs, M. J., Ramov, H. M., & Lalloo, R. (2016). An investigation into patient non-attendance and use of a short-message reminder system at a university dental clinic. *Journal of Dental Education, 80*(1), 30-39.

Torres, O., Rothberg, M. B., Garb, J., Ogunneye, O., Onyema, J., & Higgins, T. (2015). Risk factor model to predict a missed clinic appointment in an urban, academic, and underserved setting. *Population Health Management, 18*(2), 131-136.

Traeger, L., O'cleirigh, C., Skeer, M. R., Mayer, K. H., & Safren, S. A. (2012). Risk factors for missed HIV primary care visits among men who have sex with men. *Journal of Behavioral Medicine, 35*(5), 548-556.

Walter, S. D. (1973). A comparison of appointment schedules in a hospital radiology department. *British Journal of Preventive & Social Medicine, 27*(3), 160.

Wang, J., Chen, Y. F., & Xu, M. (2018). Optimization and approximation methods for dynamic appointment scheduling with patient choices. *Computers & Operations Research, 92*, 65-76.

Zacharias, C., & Pinedo, M. (2014). Appointment Scheduling with No-Shows and Overbooking. *Production and Operations Management, 23*(5), 788-801.

Zailinawati, A. H., Ng, C. J., & Nik-Sherina, H. (2006). Why do patients with chronic illnesses fail to keep their appointments? A telephone interview. *Asia Pacific Journal of Public Health, 18*(1), 10-15.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE

Sistemas de agendamento representam um importante componente em serviços de saúde ambulatoriais, os quais têm ganhado maior atenção à medida que cresce o foco em prevenção. Fatores como avanços tecnológicos e menores tempos de internação também contribuem para aumentar a demanda, motivando a busca por reduções de custo mediante sistemas de agendamento mais eficientes, em um contexto de escassez de recursos. Da mesma forma, tem aumentado a exigência por qualidade no atendimento, a qual tem a flexibilidade de escolha de horários como um importante componente.

Muitos estudos exploram a heterogeneidade dos pacientes, mediante sua classificação, como um meio de se ganhar desempenho em eficiência e nível de serviço. Entretanto, a maioria dos seus modelos impõe importantes restrições às opções dos pacientes na agenda.

Este estudo buscou considerar a heterogeneidade de fatores ambientais para aprimoramento de sistemas de agendamento ambulatorial, preservando a flexibilidade na escolha de horários. Adotando o formato de três artigos, teve como principal objetivo propor sistemas de agendamento de serviços de saúde ambulatoriais do tipo sequencial, com classificação de pacientes e períodos heterogêneos, sem restrições de horários para pacientes.

Quanto aos objetivos secundários, a pesquisa buscou:

- Analisar modelos de sistema de agendamento encontrados na literatura; e
- Propor modelos para os contextos investigados, comparando seus desempenhos com modelos desenvolvidos para pacientes homogêneos.

A pergunta de pesquisa principal formulada para este estudo foi a seguinte:

- Como obter ganho de desempenho em sistemas de agendamento sequenciais explorando a heterogeneidade de pacientes e períodos da sessão, mantendo a flexibilidade na escolha de horários?

A seguir são resgatadas as três perguntas de pesquisa desdobradas a partir da pergunta principal, com suas respectivas respostas, obtidas por meio dos artigos elaborados no trabalho.

A primeira pergunta de pesquisa foi descrita da seguinte maneira:

- Quais são os sistemas de agendamento para serviços ambulatoriais existentes na literatura e como ela os classifica?

Para atender esta questão, o primeiro artigo desenvolvido consistiu em uma revisão sistemática de literatura com foco em sistemas de agendamento ambulatorial, a qual contou com a análise detalhada de 65 artigos obtidos a partir da base *Web of Science*.

Constatou-se um aumento significativo no número de pesquisas acerca do tema nos últimos anos, bem como o predomínio de abordagens analíticas como método de pesquisa, assim como sistemas de um estágio e um único servidor.

Entre as lacunas identificadas na literatura revisada, destacam-se duas, ambas relacionadas à heterogeneidade de pacientes e à sua liberdade para escolha de um horário na agenda. A primeira seria a ausência de estudos contemplando a heterogeneidade de pacientes associada a períodos da sessão de atendimento. Esta heterogeneidade poderia ser utilizada em modelos sequenciais com horários pré-definidos, dispensando informações antecipadas dos pacientes, reduzindo assim a imposição de horários ou faixas de horários para diferentes classes.

A segunda oportunidade está relacionada ao recálculo de horários da agenda. Nas pesquisas com agendamento sequencial com horários pré-definidos, estes normalmente não são recalculados à medida que os pacientes são agendados e suas heterogeneidades são conhecidas. No único estudo em que se identificou este recálculo foram adotados tempos de serviço determinísticos para viabilizar o modelo. Conforme a literatura, esta simplificação não representa as situações comumente encontradas em contextos reais.

Estas duas lacunas direcionaram as demais perguntas de pesquisa e os respectivos artigos.

A segunda pergunta de pesquisa tem como base a segunda lacuna identificada na revisão sistemática de literatura e foi formulada da seguinte maneira:

- Como desenvolver um sistema de agendamento do tipo sequencial para pacientes heterogêneos, com horários pré-definidos e recalculados a cada agendamento, sem distinção de horários para classes de pacientes, obtendo desempenho superior aos modelos para pacientes homogêneos?

Para responder esta pergunta, o segundo artigo elaborado propôs uma heurística para recálculo de horários da agenda a cada solicitação de agendamento, com base na posição solicitada na agenda e a probabilidade de *no-show* dos pacientes, os quais foram divididos em duas classes. Para sua avaliação de desempenho foram simulados 18 cenários, com diferentes fatores ambientais. Após análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni, observou-se uma redução média de custo total (*TC*) variando de 0,46% a 5,94% entre os ambientes, sendo que os melhores resultados foram obtidos para valores menores de coeficiente de variação do tempo de serviço (*Cv*), bem como menor relação entre custo do servidor e custo de espera do paciente (*CR*). Constatou-se também um melhor desempenho em valores maiores de probabilidade de *no-show* da sessão (*PnS*). Foi possível observar, ainda, que a equação que corrige os horários adiante do horário que está sendo solicitado tem maior peso no ganho de desempenho na maioria dos ambientes simulados, para os casos em que a probabilidade de *no-show* do paciente que solicita agendamento é maior do que a probabilidade de *no-show* da sessão no momento da solicitação ( $Pn > PnS$ ).

Por último, observou-se uma influência significativa da posição da primeira solicitação na sequência de agendamentos, sem contudo identificar-se algum tipo de correlação com os fatores ambientais dos cenários simulados.

Baseada na primeira oportunidade identificada na revisão sistemática de literatura, a terceira pergunta de pesquisa foi descrita como segue:

- Como a heterogeneidade associada a períodos da sessão de atendimento pode ser utilizada para obtenção de ganho de desempenho em um sistema de agendamento do tipo sequencial com horários pré-definidos, sem distinção de horários para classes de pacientes?

Buscando responder esta pergunta, o terceiro artigo identificou na sua revisão de literatura casos em que a probabilidade de *no-show* varia ao longo de uma sessão de atendimento, independentemente das características de pacientes, o que torna possível a montagem de uma agenda com classificação de períodos, em vez de pacientes, com liberdade de escolha de horários.

O estudo simulou 72 cenários com diferentes fatores ambientais e combinações de períodos com diferentes taxas de *no-show* dentro de uma mesma sessão. Para

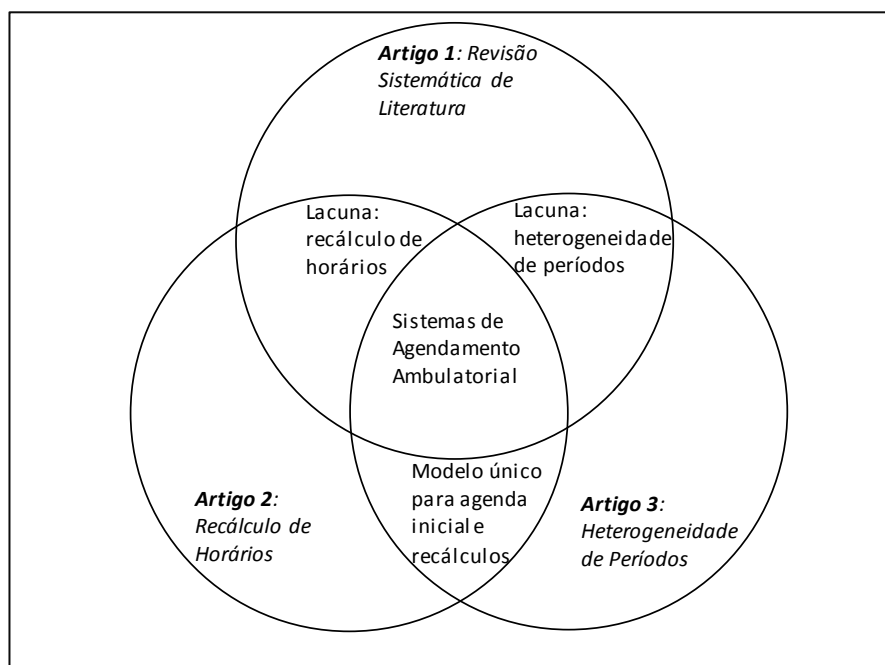


avaliação de desempenho, foram aplicadas três regras de agendamento desenvolvidas para classificação de pacientes, constatando-se ganho de custo (*TC*) em 54 dos 72 cenários. Este ganho apresentou média de 2,26%, variando de 0% a 9,54% entre os ambientes analisados, validado por análise de medidas repetidas com ajuste de Bonferroni. Observou-se, ainda, que os ganhos aumentam à medida que cresce a diferença entre taxas de *no-show* entre os períodos da sessão, especialmente quando a taxa de *no-show* do primeiro período é superior à do segundo. Por último, constatou-se que a regra *Dome PC* foi a que apresentou melhor desempenho para a classificação de períodos na maior parte dos cenários analisados.

### 6.1 Conexão entre os artigos

Em uma análise conjunta, ressalta-se que os artigos focam em sistemas de agendamento ambulatorial, portanto um mesmo tema. Ao revisar a literatura, o primeiro artigo identifica lacunas na teoria que direcionam os artigos seguintes, estabelecendo assim uma conexão com os mesmos.

Figura 6.1 – Conexão entre os artigos da tese



Fonte: elaborado pelo autor

Ambas as oportunidades levantadas na literatura estão relacionadas a heterogeneidade e como utilizá-la para ganho de desempenho sem perda de

flexibilidade na escolha de horários para os pacientes. Deste modo, o segundo e o terceiro artigos buscam um mesmo objetivo, com diferentes meios, caracterizando uma conexão entre si.

No sistema de agendamento proposto no segundo artigo, em que os horários são recalculados à medida que os agendamentos são solicitados, parte-se de uma agenda inicial, montada com regras para pacientes homogêneos. Em casos em que é possível identificar uma heterogeneidade associada a período da sessão, esta agenda inicial pode ser montada com o sistema proposto no terceiro artigo, formando um sistema único e ampliando as possibilidades de ganho de desempenho. A Figura 6.1 ilustra a conexão entre os artigos da tese.

## 6.2 Limitações

De acordo com a teoria sobre sistemas de agendamento ambulatoriais, não existem modelos que cubram todas as situações encontradas na prática. A combinação de fatores ambientais e suas amplitudes, identificados na literatura, geram um grande número de cenários possíveis, sendo que este estudo cobre apenas uma parcela deste universo. Da mesma forma, os modelos propostos se restringem a um único servidor e apenas um estágio de serviço.

Outra limitação deste trabalho diz respeito à caracterização da heterogeneidade, uma vez que uma única variável, a probabilidade de *no-show*, foi empregada para este fim.

Quanto ao segundo artigo especificamente, diferentes números de pacientes por sessão ( $N$ ) certamente trariam diferenças significativas nos resultados, dada a distribuição binomial de chegada das classes de pacientes.

No caso do terceiro artigo, a divisão das sessões de atendimento em mais de dois períodos, assim como simulações de períodos com durações distintas, poderia contribuir para enriquecer os resultados e permitir um maior conhecimento sobre os efeitos da heterogeneidade associada a períodos da sessão.

## 6.3 Proposições para Contribuições Futuras

Conforme as limitações já mencionadas, existe oportunidade para se explorar uma gama mais ampla de fatores ambientais, assim como múltiplos servidores e

estágios de serviço, estendendo o domínio dos efeitos dos modelos propostos neste trabalho.

Diversos estudos demonstram o grande impacto de variáveis como média e coeficiente de variação de tempo de serviço quando utilizados como critério de classificação de pacientes. A inclusão destes e outros parâmetros nos sistemas propostos configura uma interessante alternativa para novos estudos. Para que isto seja viabilizado no modelo do terceiro artigo, faz-se necessário pesquisar previamente a predição destas variáveis em função de períodos da sessão de atendimento, sendo esta uma recomendação adicional para pesquisas futuras.

A divisão dos parâmetros em um maior número de classes poderia proporcionar maior precisão e desempenho, embora implique maior complexidade. Esta ampliação de classes, em conjunto com um maior número de parâmetros, poderia ser explorada com o uso de simulação baseada em agentes.

Sugere-se ainda, no caso do segundo artigo, aprofundamento dos estudos sobre o efeito da sequência de chegadas de pacientes, tanto no que se refere à posição na agenda, quanto à sua classe, haja vista que constatou-se influência destas variáveis nos resultados obtidos.

Embora os modelos desenvolvidos contemplem as principais premissas realistas, como a inclusão de *no-shows*, tempos de serviço estocásticos e distribuições de probabilidade observadas em contextos práticos, outros parâmetros poderiam ser introduzidos, como a presença de *walk-ins* e a questão da pontualidade dos pacientes.

Finalmente, existe espaço para aprimoramento das regras de agendamento utilizadas nos modelos propostos. No caso do terceiro artigo, cabe observar que as regras utilizadas para classificação de períodos foram originalmente concebidas para a classificação de pacientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi-Javid, A., Jalali, Z., & Klassen, K. J. (2017). Outpatient appointment systems in healthcare: A review of optimization studies. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 3-34.
- Akhavizadegan, F., Ansarifard, J., & Jolai, F. (2017). A novel approach to determine a tactical and operational decision for dynamic appointment scheduling at nuclear medical center. *Computers & Operations Research*, 78, 267-277.
- Alrefaei, M. H., & Diabat, A. (2015). Modelling and optimization of outpatient appointment scheduling. *RAIRO-Operations Research*, 49(3), 435-450.
- Anderson, K., Zheng, B., Yoon, S. W., & Khasawneh, M. T. (2015). An analysis of overlapping appointment scheduling model in an outpatient clinic. *Operations research for health care*, 4, 5-14.
- Asaduzzaman, M., Chausalet, T. J., & Robertson, N. J. (2010). A loss network model with overflow for capacity planning of a neonatal unit. *Annals of Operations Research*, 178(1), 67-76.
- Bailey, N. T. (1952). A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments, with special reference to waiting-times. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 14(2), 185-199.
- Berg, B. P., Denton, B. T., Erdogan, S. A., Rohleder, T., & Huschka, T. (2014). Optimal booking and scheduling in outpatient procedure centers. *Computers & Operations Research*, 50, 24-37.
- Bhattacharjee, P., & Ray, P. K. (2016). Simulation modelling and analysis of appointment system performance for multiple classes of patients in a hospital: a case study. *Operations Research for Health Care*, 8, 71-84.
- Bowers, J. A. (2011). Simulating waiting list management. *Health Care Management Science*, 14(3), 292-298.
- Bush, R., Vemulakonda, V., Corbett, S., & Chiang, G. (2014). Can we predict a national profile of non-attendance pediatric urology patients: a multi-institutional electronic health record study. *Informatics in Primary Care*, 21(3), 132.
- Cayirli, T., & Gunes, E. D. (2014). Outpatient appointment scheduling in presence of seasonal walk-ins. *Journal of the Operational Research Society*, 65(4), 512-531.
- Cayirli, T., & Veral, E. (2003). Outpatient scheduling in health care: a review of literature. *Production and Operations Management*, 12(4), 519-549.

- Cayirli, T., & Yang, K. K. (2014). A universal appointment rule with patient classification for service times, no-shows, and walk-ins. *Service Science*, 6(4), 274-295.
- Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2006). Designing appointment scheduling systems for ambulatory care services. *Health Care Management Science*, 9(1), 47-58.
- Cayirli, T., Veral, E., & Rosen, H. (2008). Assessment of patient classification in appointment system design. *Production and Operations Management*, 17(3), 338-353.
- Cayirli, T., Yang, K. K., & Quek, S. A. (2012). A universal appointment rule in the presence of no-shows and walk-ins. *Production and Operations Management*, 21(4), 682-697.
- Chakraborty, S., Muthuraman, K., & Lawley, M. (2013). Sequential clinical scheduling with patient no-show: The impact of pre-defined slot structures. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(3), 205-219.
- Chariatte, V., Michaud, P. A., Berchtold, A., Akre, C., & Suris, J. C. (2007). Missed appointments in an adolescent outpatient clinic: descriptive analyses of consultations over 8 years. *Swiss Medical Weekly*, 137(47-48), 677-681.
- Chen, P. S., Robielos, R. A. C., Palaña, P. K. V. C., Valencia, P. L. L., & Chen, G. Y. H. (2015). Scheduling patients' appointments: Allocation of healthcare service using simulation optimization. *Journal of Healthcare Engineering*, 6(2), 259-280.
- Choi, S. S., & Banerjee, A. A. (2016). Comparison of a branch-and-bound heuristic, a newsvendor-based heuristic and periodic Bailey rules for outpatients appointment scheduling systems. *Journal of the Operational Research Society*, 67(4), 576-592.
- Cohen, A. D., Dreiherr, J., Vardy, D. A., & Weitzman, D. (2008). Nonattendance in a dermatology clinic—a large sample analysis. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 22(10), 1178-1183.
- Cohen, A. D., Goldbart, A. D., Levi, I., Shapiro, J., & Vardy, D. A. (2007). Health provider factors associated with nonattendance in pediatric dermatology ambulatory patients. *Pediatric Dermatology*, 24(2), 113-117.
- Cohen, A. D., Kaplan, D. M., Shapiro, J., Levi, I., & Vardy, D. A. (2005). Health provider determinants of nonattendance in pediatric otolaryngology patients. *The Laryngoscope*, 115(10), 1804-1808.
- Creps, J., & Lotfi, V. (2017). A dynamic approach for outpatient scheduling. *Journal of Medical Economics*, 20(8), 786-798.

- Dantas, L. F., Fleck, J. L., Oliveira, F. L. C., & Hamacher, S. (2018). No-shows in appointment scheduling—a systematic literature review. *Health Policy, 122*(4), 412-421.
- De Vuyst, S., Bruneel, H., & Fiems, D. (2014). Computationally efficient evaluation of appointment schedules in health care. *European Journal of Operational Research, 237*(3), 1142-1154.
- Deceuninck, M., Fiems, D., & De Vuyst, S. (2018). Outpatient scheduling with unpunctual patients and no-shows. *European Journal of Operational Research, 265*(1), 195-207.
- Denton, B., & Gupta, D. (2003). A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling. *IIE Transactions, 35*(11), 1003-1016.
- Erdogan, S. A., & Denton, B. (2013). Dynamic appointment scheduling of a stochastic server with uncertain demand. *INFORMS Journal on Computing, 25*(1), 116-132.
- Erdogan, S. A., Gose, A., & Denton, B. T. (2015). Online appointment sequencing and scheduling. *IIE Transactions, 47*(11), 1267-1286.
- Farid, B. T., & Alapont, E. (1993). Patients who fail to attend their first psychiatric outpatient appointment: Non-attendance or inappropriate referral?. *Journal of Mental Health, 2*(1), 81-83.
- Fry, J. (1964). Appointments Systems in Hospitals and General Practice: Appointments in General Practice. *Journal of the Operational Research Society, 15*(3), 233-237.
- Garg, L., McClean, S. I., Barton, M., Meenan, B. J., & Fullerton, K. (2012). Intelligent patient management and resource planning for complex, heterogeneous, and stochastic healthcare systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 42*(6), 1332-1345.
- Gocgun, Y., & Puterman, M. L. (2014). Dynamic scheduling with due dates and time windows: an application to chemotherapy patient appointment booking. *Health Care Management Science, 17*(1), 60-76.
- Goldbart, A. D., Dreiherr, J., Vardy, D. A., Alkrinawi, S., & Cohen, A. D. (2009). Nonattendance in pediatric pulmonary clinics: an ambulatory survey. *BMC Pulmonary Medicine, 9*(1), 12.
- Gupta, D., & Denton, B. (2008). Appointment scheduling in health care: Challenges and opportunities. *IIE Transactions, 40*(9), 800-819.

- Gupta, D., Natarajan, M. K., Gafni, A., Wang, L., Shilton, D., Holder, D., & Yusuf, S. (2007). Capacity planning for cardiac catheterization: a case study. *Health Policy*, 82(1), 1-11.
- Hahn-Goldberg, S., Carter, M. W., Beck, J. C., Trudeau, M., Sousa, P., & Beattie, K. (2014). Dynamic optimization of chemotherapy outpatient scheduling with uncertainty. *Health Care Management Science*, 17(4), 379-392.
- Harper, P. R., & Gamlin, H. M. (2003). Reduced outpatient waiting times with improved appointment scheduling: a simulation modelling approach. *Or Spectrum*, 25(2), 207-222.
- Hong, T. S., Shang, P. P., Arumugam, M., & Yusuff, R. M. (2013). Use of simulation to solve outpatient clinic problems: a review of the literature. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(3), 27-47.
- Huang, Y. L. (2016). Appointment standardization evaluation in a primary care facility. *International Journal of Health Care Quality Assurance*.
- Huang, Y. L., & Bach, S. M. (2016). Appointment lead time policy development to improve patient access to care. *Applied Clinical Informatics*, 7(4), 954.
- Huang, Y. L., & Marcak, J. (2015). Grid patient appointment template design to improve scheduling effectiveness. *Journal of Healthcare Engineering*, 6(2), 239-258.
- Huang, Y., & Hanauer, D. A. (2014). Patient no-show predictive model development using multiple data sources for an effective overbooking approach. *Applied Clinical Informatics*, 5(03), 836-860.
- Huang, Y., & Verduzco, S. (2015). Appointment template redesign in a women's health clinic using clinical constraints to improve service quality and efficiency. *Applied Clinical Informatics*, 6(02), 271-287.
- Jeang, A., & Chiang, A. J. (2012). Economic and quality scheduling for effective utilization of operating rooms. *Journal of Medical Systems*, 36(3), 1205-1222.
- Jiang, R., Shen, S., & Zhang, Y. (2017). Integer programming approaches for appointment scheduling with random no-shows and service durations. *Operations Research*, 65(6), 1638-1656.
- Johnson, W. L., & Rosenfeld, L. S. (1968). Factors affecting waiting time in ambulatory care services. *Health Services Research*, 3(4), 286.
- Kalb, L. G., Freedman, B., Foster, C., Menon, D., Landa, R., Kishfy, L., & Law, P. (2012). Determinants of appointment absenteeism at an outpatient pediatric autism clinic. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 33(9), 685-697.

Kempny, A., Diller, G. P., Dimopoulos, K., Alonso-Gonzalez, R., Uebing, A., Li, W., ... & Gatzoulis, M. A. (2016). Determinants of outpatient clinic attendance amongst adults with congenital heart disease and outcome. *International Journal of Cardiology*, 203, 245-250.

Kim, S., & Giachetti, R. E. (2006). A stochastic mathematical appointment overbooking model for healthcare providers to improve profits. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 36(6), 1211-1219.

King, A., David, D., Jones, H. S., & O'Brien, C. (1995). Factors affecting non-attendance in an ophthalmic outpatient department. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 88(2), 88.

Klassen, K. J., & Rohleder, T. R. (1996). Scheduling outpatient appointments in a dynamic environment. *Journal of Operations Management*, 14(2), 83-101.

Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2009). Improving performance in outpatient appointment services with a simulation optimization approach. *Production and Operations Management*, 18(4), 447-458.

Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2013). Appointment system design with interruptions and physician lateness. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(4), 394-414.

Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2014). Strategies for appointment policy design with patient unpunctuality. *Decision Sciences*, 45(5), 881-911.

Klassen, K. J., & Yoogalingam, R. (2019). Appointment scheduling in multi-stage outpatient clinics. *Health Care Management Science*, 22(2), 229-244.

Kong, Q., Lee, C. Y., Teo, C. P., & Zheng, Z. (2013). Scheduling arrivals to a stochastic service delivery system using copositive cones. *Operations Research*, 61(3), 711-726.

Kortbeek, N., Zonderland, M. E., Braaksma, A., Vliegen, I. M., Boucherie, R. J., Litvak, N., & Hans, E. W. (2014). Designing cyclic appointment schedules for outpatient clinics with scheduled and unscheduled patient arrivals. *Performance Evaluation*, 80, 5-26.

Kuiper, A., & Mandjes, M. (2015). Appointment scheduling in tandem-type service systems. *Omega*, 57, 145-156.

Kuiper, A., de Mast, J., & Mandjes, M. (2019). The problem of appointment scheduling in outpatient clinics: A multiple case study of clinical practice. *Omega*, 102122.



- Kuiper, A., Kemper, B., & Mandjes, M. (2015). A computational approach to optimized appointment scheduling. *Queueing Systems*, 79(1), 5-36.
- LaGanga, L. R., & Lawrence, S. R. (2012). Appointment overbooking in health care clinics to improve patient service and clinic performance. *Production and Operations Management*, 21(5), 874-888.
- Lee, S. J., Heim, G. R., Sriskandarajah, C., & Zhu, Y. (2018). Outpatient Appointment Block Scheduling Under Patient Heterogeneity and Patient No-Shows. *Production and Operations Management*, 27(1), 28-48.
- Leung, J. Y. (Ed.). (2004). *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis*. CRC press.
- Lin, C. K. Y. (2015). An adaptive scheduling heuristic with memory for the block appointment system of an outpatient specialty clinic. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7488-7516.
- Lin, C. K. Y., Ling, T. W. C., & Yeung, W. K. (2017). Resource Allocation and Outpatient Appointment Scheduling Using Simulation Optimization. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017.
- Lindley, D. V. (1952, April). The theory of queues with a single server. In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* (Vol. 48, No. 2, pp. 277-289). Cambridge University Press.
- Lu, Y., Xie, X., & Jiang, Z. (2018). Dynamic appointment scheduling with wait-dependent abandonment. *European Journal of Operational Research*, 265(3), 975-984.
- Luo, J., Kulkarni, V. G., & Ziya, S. (2012). Appointment scheduling under patient no-shows and service interruptions. *Manufacturing & Service Operations Management*, 14(4), 670-684.
- Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2014). Sequencing appointments for service systems using inventory approximations. *Manufacturing & Service Operations Management*, 16(2), 251-262.
- Mak, H. Y., Rong, Y., & Zhang, J. (2015). Appointment scheduling with limited distributional information. *Management Science*, 61(2), 316-334.
- Mancilla, C., & Storer, R. (2012). A sample average approximation approach to stochastic appointment sequencing and scheduling. *IIE Transactions*, 44(8), 655-670.

- McDermott, C., & Stock, G. N. (2007). Hospital operations and length of stay performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(9), 1020-1042.
- McLeod, H., Heath, G., Cameron, E., Debelle, G., & Cummins, C. (2015). Introducing consultant outpatient clinics to community settings to improve access to paediatrics: an observational impact study. *BMJ Qual Saf*, 24(6), 377-384.
- Menendez, M. E., & Ring, D. (2015). Factors associated with non-attendance at a hand surgery appointment. *Hand*, 10(2), 221-226.
- Miller, A. J., Chae, E., Peterson, E., & Ko, A. B. (2015). Predictors of repeated “no-showing” to clinic appointments. *American Journal of Otolaryngology*, 36(3), 411-414.
- Morikawa, K., & Takahashi, K. (2017). Scheduling appointments for walk-ins. *International Journal of Production Economics*, 190, 60-66.
- Morikawa, K., Takahashi, K., & Hirotsu, D. (2018). Performance evaluation of candidate appointment schedules using clearing functions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), 509-518.
- Nguyen, T. B. T., Sivakumar, A. I., & Graves, S. C. (2017). Scheduling rules to achieve lead-time targets in outpatient appointment systems. *Health Care Management Science*, 20(4), 578-589.
- Nicholls, R. (2016). Capacity Management in Healthcare Services. *Medical Maestro Magazine*, 16, 2250-2253.
- Oleskovicz, M., Oliva, F. L., Grisi, C. C. D. H., Lima, A. C., & Custódio, I. (2014). Técnica de overbooking no atendimento público ambulatorial em uma unidade do Sistema Único de Saúde. *Cadernos de Saúde Pública*, 30, 1009-1017.
- Oliveira, F. G. F. T. D., Fonseca, L. M. B. D., & Koch, H. A. (2011). Responsabilidade civil do radiologista no diagnóstico do câncer de mama através do exame de mamografia. *Radiologia Brasileira*, 44(3), 183-187.
- Parizi, M. S., & Ghate, A. (2016). Multi-class, multi-resource advance scheduling with no-shows, cancellations and overbooking. *Computers & Operations Research*, 67, 90-101.
- Pedroso, M. C., & Malik, A. M. (2012). Cadeia de valor da saúde: um modelo para o sistema de saúde brasileiro. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(10), 2757-2772.
- Peng, Y., Erdem, E., Shi, J., Masek, C., & Woodbridge, P. (2016). Large-scale assessment of missed opportunity risks in a complex hospital setting. *Informatics for Health and Social Care*, 41(2), 112-127.

- Pérez, E., Ntaimo, L., Malavé, C. O., Bailey, C., & McCormack, P. (2013). Stochastic online appointment scheduling of multi-step sequential procedures in nuclear medicine. *Health Care Management Science*, *16*(4), 281-299.
- Qi, J. (2016). Mitigating delays and unfairness in appointment systems. *Management Science*, *63*(2), 566-583.
- Rau, C. L., Tsai, P. F. J., Liang, S. F. M., Tan, J. C., Syu, H. C., Jheng, Y. L., ... & Jaw, F. S. (2013). Using discrete-event simulation in strategic capacity planning for an outpatient physical therapy service. *Health Care Management Science*, *16*(4), 352-365.
- Rechel, B., Wright, S., Barlow, J., & McKee, M. (2010). Hospital capacity planning: from measuring stocks to modelling flows. *Bulletin of the World Health Organization*, *88*, 632-636.
- Remijn, I. (2018). *Capacity management in healthcare* (Bachelor's thesis, University of Twente).
- Riise, A., Mannino, C., & Lamorgese, L. (2016). Recursive logic-based Benders' decomposition for multi-mode outpatient scheduling. *European Journal of Operational Research*, *255*(3), 719-728.
- Roche, K. T., Rivera, D. E., & Cochran, J. K. (2012). A control engineering framework for managing whole hospital occupancy. *Mathematical and Computer Modelling*, *55*(3-4), 1401-1417.
- Rockart, J. F., & Hofmann, P. B. (1969). Physician and patient behavior under different scheduling systems in a hospital outpatient department. *Medical Care*, 463-470.
- Ross, J. D., Mclver, A., Blakely, A., Dalrymple, J., Peacock, W., & Wallis, C. (1995). Why do patients default from follow-up at a genitourinary clinic? A multivariate analysis. *Sexually Transmitted Infections*, *71*(6), 393-395.
- Safdar, K. A., Emrouznejad, A., & Dey, P. K. (2016). Assessing the Queuing Process Using Data Envelopment Analysis: an Application in Health Centres. *Journal of Medical Systems*, *40*(1), 32.
- Salzarulo, P. A., Mahar, S., & Modi, S. (2016). Beyond patient classification: Using individual patient characteristics in appointment scheduling. *Production and Operations Management*, *25*(6), 1056-1072.
- Saremi, A., Jula, P., ElMekkawy, T., & Wang, G. G. (2015). Bi-criteria appointment scheduling of patients with heterogeneous service sequences. *Expert Systems with Applications*, *42*(8), 4029-4041.

Schuetz, H. J., & Kolisch, R. (2013). 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*, 206(1), 401-423.

Sickinger, S., & Kolisch, R. (2009). The performance of a generalized Bailey–Welch rule for outpatient appointment scheduling under inpatient and emergency demand. *Health Care Management Science*, 12(4), 408.

Smith-Daniels, V. L., Schweikhart, S. B., & Smith-Daniels, D. E. (1988). Capacity management in health care services: Review and future research directions. *Decision Sciences*, 19(4), 889-919.

Storrs, M. J., Ramov, H. M., & Lalloo, R. (2016). An investigation into patient non-attendance and use of a short-message reminder system at a university dental clinic. *Journal of Dental Education*, 80(1), 30-39.

Su, S., & Shih, C. L. (2003). Managing a mixed-registration-type appointment system in outpatient clinics. *International Journal of Medical Informatics*, 70(1), 31-40.

Tai, G., & Williams, P. (2012). Optimization of scheduling patient appointments in clinics using a novel modelling technique of patient arrival. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 108(2), 467-476.

Tai, G., & Williams, P. (2013). Quantitative analysis of investment allocation over various resources of health care systems by using views of product lines. *International Journal of Systems Science*, 44(11), 2057-2067.

Tang, J., Yan, C., & Cao, P. (2014). Appointment scheduling algorithm considering routine and urgent patients. *Expert Systems with Applications*, 41(10), 4529-4541.

Torres, O., Rothberg, M. B., Garb, J., Ogunneye, O., Onyema, J., & Higgins, T. (2015). Risk factor model to predict a missed clinic appointment in an urban, academic, and underserved setting. *Population Health Management*, 18(2), 131-136.

Traeger, L., O'cleirigh, C., Skeer, M. R., Mayer, K. H., & Safren, S. A. (2012). Risk factors for missed HIV primary care visits among men who have sex with men. *Journal of Behavioral Medicine*, 35(5), 548-556.

Tsai, P. F. J., & Teng, G. Y. (2014). A stochastic appointment scheduling system on multiple resources with dynamic call-in sequence and patient no-shows for an outpatient clinic. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 427-436.

Turkcan, A., Zeng, B., Muthuraman, K., & Lawley, M. (2011). Sequential clinical scheduling with service criteria. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 780-795.

- Vanden Bosch, P. M., Dietz, D. C., & Simeoni, J. R. (1999). Scheduling customer arrivals to a stochastic service system. *Naval Research Logistics (NRL)*, 46(5), 549-559.
- Vink, W., Kuiper, A., Kemper, B., & Bhulai, S. (2015). Optimal appointment scheduling in continuous time: The lag order approximation method. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 213-219.
- Walter, S. D. (1973). A comparison of appointment schedules in a hospital radiology department. *British Journal of Preventive & Social Medicine*, 27(3), 160.
- Wang, J., Chen, Y. F., & Xu, M. (2018). Optimization and approximation methods for dynamic appointment scheduling with patient choices. *Computers & Operations Research*, 92, 65-76.
- Wang, P. P. (1993). Static and dynamic scheduling of customer arrivals to a single-server system. *Naval Research Logistics (NRL)*, 40(3), 345-360.
- Wang, W. Y., & Gupta, D. (2011). Adaptive appointment systems with patient preferences. *Manufacturing & Service Operations Management*, 13(3), 373-389.
- Welch, J. D., & Bailey, N. J. (1952). Appointment systems in hospital outpatient departments. *The Lancet*, 259(6718), 1105-1108.
- White, D. L., Froehle, C. M., & Klassen, K. J. (2011). The effect of integrated scheduling and capacity policies on clinical efficiency. *Production and Operations Management*, 20(3), 442-455.
- Wu, X. D., Khasawneh, M. T., Yue, D. M., Chu, Y. N., & Gao, Z. T. (2014). A simulation study of outpatient scheduling with multiple providers and a single device. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 7(sup2), 15-25.
- Xiao, G., Dong, M., Li, J., & Sun, L. (2017). Scheduling routine and call-in clinical appointments with revisits. *International Journal of Production Research*, 55(6), 1767-1779.
- Yan, C., Tang, J., & Jiang, B. (2014). Sequential appointment scheduling considering walk-in patients. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- Yan, C., Tang, J., Jiang, B., & Fung, R. Y. (2015). Sequential appointment scheduling considering patient choice and service fairness. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7376-7395.
- Zacharias, C., & Pinedo, M. (2014). Appointment Scheduling with No-Shows and Overbooking. *Production and Operations Management*, 23(5), 788-801.

Zailinawati, A. H., Ng, C. J., & Nik-Sherina, H. (2006). Why do patients with chronic illnesses fail to keep their appointments? A telephone interview. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 18(1), 10-15.

Zhang, Y., Shen, S., & Erdogan, S. A. (2017). Distributionally robust appointment scheduling with moment-based ambiguity set. *Operations Research Letters*, 45(2), 139-144.