CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI
TALLES NEWTON DE CARVALHO

OTIMIZAÇÃO DO USO DE SALAS CIRÚRGICAS EM UM HOSPITAL ESCOLA PÚBLICO DE CARDIOLOGIA: pela utilização conjunta e sequencial dos modelos de Min e Beliën

São Bernardo do Campo
2015

TALLES NEWTON DE CARVALHO

OTIMIZAÇÃO DO USO DE SALAS CIRÚRGICAS EM UM HOSPITAL ESCOLA PÚBLICO DE CARDIOLOGIA: pela utilização conjunta e sequencial dos modelos de Min e Beliën

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica – ênfase em Produção, orientado pelo Prof. Dr. João Chang Junior.

São Bernardo do Campo

2015

Carvalho, Talles Newton de .
Otimização do uso de salas cirúrgicas em um hospital escola público de cardiologia: pela utilização conjunta e sequencial dos modelos de Min e Beliën / Talles Newton de Carvalho. São Bernardo do Campo, 2015.
87 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário da FEI.
Orientador: Prof. Dr. João Chang Junior.

1. agendamento de cirurgias. 2. centro cirúrgico. 3. programação linear binária. I. Carvalho, Talles Newton de. II. Chang Junior, João, orient. III. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA EXAMINADORA

Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica

Mestrado

PGM-10

Aluno: Talles Newton de Carvalho **Matrícula:** 212303-2

Título do Trabalho: Otimização do uso de salas cirúrgicas em um hospital escola público de cardiologia: pela utilização conjunta e sequencial dos modelos de Min e Beliën

Área de Concentração: Produção

Orientador: Prof. Dr. João Chang Junior

Data da realização da defesa: 16/09/2015

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

_____

_____

_____

_____

_____

São Bernardo do Campo, / / .

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA	
Prof. Dr. João Chang Junior	Ass.: _____
Prof.ª Dr.ª Suzana Bierrenbach de Souza Santos	Ass.: _____
Prof.ª Dr.ª Patrícia Belfiore Fávero	Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Escolha um trabalho de que gostes e
não terás que trabalhar nem um dia na tua vida.

Confúcio

RESUMO

Este estudo tem como objetivo propor um modelo de otimização a ser aplicado para a alocação de pacientes cardiopatas eletivos em um número finito de salas cirúrgicas, em determinado dia da semana e equipe médica, em um hospital escola público de cardiologia por meio da aplicação conjunta e sequencial de dois modelos de Beliën, Demeulemeester e Min, Yih. Atualmente, devido ao processo ser empírico, grande parte dos pacientes que aguardam cirurgias se encontra em um estado clínico crítico. Junto a isso, a carência de programação sistematizada causa uma espera prolongada de agendamento, a qual agrava ainda mais o estado do paciente e aumenta o índice de permanência do paciente nos leitos. Portanto, esse paciente, devido ao seu estado, acaba dando entrada pelo pronto socorro e tendo de fazer uma cirurgia de urgência, ou seja, isto leva ao desequilíbrio da rotina do centro cirúrgico e dificulta a programação.

O uso conjunto dos dois modelos proporciona o agendamento semanal de cirurgias priorizando os pacientes por nível de criticidade e reduzindo o tempo de espera por um leito pós-operatório. A preocupação com o pós-cirúrgico, demonstrou uma melhora de 29% nas quantidades de leitos necessários para atender a demanda em relação a um agendamento aleatório destes pacientes, além de uma criteriosa seleção de pacientes baseado na condição atual da lista de espera.

Palavras-chave: agendamento de cirurgias. centro cirúrgico. programação linear binária.

ABSTRACT

This study aims to propose an optimization model to be applied to the allocation of elective cardiac patients in a finite number of operating rooms (OR) on a certain weekday and medical staff, in a public school hospital by combined and sequential application of two models of Belien, Demeulemeester and Min Yih.

Nowadays, due to the process being empirical, most of patients that are waiting for the surgery, also are in a critical clinical condition.

In addition, the lack of systematic programming causes a prolonged wait scheduling, which further aggravates the patient's condition and increases the occupancy rate of beds.

Therefore, this patient, due to his condition, just by entering the emergency room and having to make an emergency surgery, in other words, it leads to unbalance the operating room routine and it makes difficult to schedule.

The combined use of the two models provides the weekly schedule of surgeries prioritizing patients by level of criticality and reduces the waiting time for a post-operative bed. The concern for the postsurgical, showed an improvement of 29% in quantities of beds needed to meet the demand with respect to a random schedule of these patients, in addition to a careful selection of patients based on the current condition of the waiting list.

Keywords: surgery scheduling. Surgery center. Linear programming binary.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de casos de cirurgias coronárias, arritmia e valvar 38
Tabela 2 – Número de casos de cirurgias coronárias, arritmia e valvar após tratamento39
Tabela 3 – Duração dos procedimentos média e desvio padrão 39
Tabela 4 – Todos estados possíveis para uma lista com w=3 48
Tabela 5 – Tempos médios para cada tipo cirúrgico 54
Tabela 6 – Quantidade de cirurgias por blocos para cada tipo cirúrgico 55
Tabela 7 – Metas cirúrgicas de um hospital modelo 55
Tabela 8 – Probabilidade de tempo de permanência dos pacientes conforme tipo cirúrgico 56
Tabela 9 – Agendamento proposto pelo algoritmo de nivelamento de leitos – resultados por bloco cirúrgico 57
Tabela 10 – Agendamento mestre cirúrgico semanal considerando resultado por cirurgia 57
Tabela 11 – Resultados por leitos – agendamento ótimo 57
Tabela 12 – Resultados por leitos agendamento aleatório 59
Tabela 13 – Ações tomadas no agendamento de coronária em um estado de 14 pacientes 61

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação do momento medido 15
Figura 2 – Distribuição das cirurgias eletivas e não eletivas no bloco 16
Figura 3 – Gráfico de custos em função do número de pacientes agendados 17
Figura 4 – Gráfico de custos em função do número de pacientes em espera (estado) ... 17
Figura 5 – Comparação entre os parâmetros otimizados e os parâmetros fixos..... 22
Figura 6 – Proporção de cada exame executado no departamento de medicina nuclear 24
Figura 7 – Simulação discreta de eventos do fluxo de pacientes 27
Figura 8 – Simulações contendo 3 possibilidades de *no-show*..... 28
Figura 9 – Exemplo de balanceamento entre os custos relacionados as horas extras e o custo do adiamento 29
Figura 10 – Diagrama de redes..... 30
Figura 11 – Solução gráfica proposta 31
Figura 12 – Exemplo do modelo adotado para aplicação de Markov 33
Figura 13 – Exemplo de cadeia de Markov 34
Figura 14 – Fluxograma de classificação de pacientes de acordo com a *Italian National Guidelines* 35
Figura 15 – Exemplo de cronograma cíclico cirúrgico 45
Figura 16 – Ações possíveis para estado 1,0,2 48
Figura 17 - Fluxograma de agendamento de consultas 52
Figura 18 – Fluxograma do processo de aplicação do algoritmo 53
Figura 19 – Ações tomadas cirurgia coronária com pesos [6 2 1] 59
Figura 20 – Ações tomadas cirurgia coronária com pesos [60 20 10] 60
Figura 21 – Distribuição tempos cirúrgicos cirurgia coronária 61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
1.1 CIRURGIA ELETIVA 11
1.2 OBJETIVO 13
1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO 14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
2.1 MÉTODOS DE SOLUÇÃO APLICADOS NO AGENDAMENTO 20
2.2 AGENDAMENTO CIRÚRGICO MESTRE 20
2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR 29
2.3.1 Processo de decisão de Markov 32
3 METODOLOGIA 37
3.1 SOFTWARE/LINGUAGEM UTILIZADA 38
3.2 DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS 38
3.2.1 Procedimentos utilizados para tratamento do banco de dados 38
3.2.2 Tratamento das variáveis para parametrização do algoritmo de construção de agendamento mestre cirúrgico 39
3.2.3 Parametrização do algoritmo de construção de agendamento cirúrgico mestre 40
3.2.4 Tratamento das variáveis para parametrização do algoritmo de agendamento prioritário dos pacientes 40
3.2.5 Parametrização do algoritmo de agendamento prioritário dos pacientes ... 41
3.3 NIVELAMENTO DO LEITOS 41
3.3.1 Definição das variáveis 42
3.3.2 Etapas do algoritmo 43
3.4 SELEÇÃO DE PACIENTES ELETIVOS SEPARADOS POR PRIORIDADES 46
3.4.1 Método de Markov 46
3.4.2 Variáveis do algoritmo 47
3.4.3 Detalhamento do algoritmo 47
3.5 FLUXO DE PROCESSOS 51
4 RESULTADOS 54
5 CONCLUSÕES 64
REFERÊNCIAS 64

APÊNDICE A - ALGORITMO AGENDAMENTO CIRURGICO MESTRE.. 73
A.1 FUNÇÃO OBJETIVO 74
A.2 DADOS CIRÚRGICOS 74
A.3 FUNÇÃO DISTANCIA DIAS DA SEMANA 75
A.4 DEFINIÇÃO MATRIZ AGENDAMENTO 76
A.5 CÁLCULO DA MÉDIA 76
APÊNDICE B - ALGORITMO AGENDAMENTO ELETIVO POR PRIORIDADE.....78
B.1 ALGORITMO PRINCIPAL 79
B.2 FUNÇÃO DEFINIÇÃO DE TODOS ESTADOS POSSÍVEIS 82
B.3 FUNÇÃO DEFINIÇÃO DE TODOS AÇÕES POSSÍVEIS 83
B.4 FUNÇÃO CUSTO ADIAMENTO CIRURGICO 84
B.5 FUNÇÃO CHEGADA DE NOVOS PACIENTES 85
B.6 FUNÇÃO CUSTOS EXTRAS 86

1 INTRODUÇÃO

A procura do aperfeiçoamento no agendamento de cirurgias eletivas é justificada na literatura técnica, através dos altos custos, lucros e investimentos envolvidos neste tipo de intervenção médica.

A cirurgia eletiva cresceu 11,7% em dois anos no Brasil, passando de 2.120.580 cirurgias realizadas em 2012 para 2.370.039 em 2014. No mesmo período, o investimento do Ministério da Saúde saltou de R$ 1,04 bilhão para R$ 1,33 bilhão, o que representa um crescimento de 27,2% (SARDENBERG, 2015).

Os centros cirúrgicos são responsáveis por gerar altos custos para sua adequada operação (MACARIO et al., 1995; LAMIRI et al., 2008) e o agendamento de cirurgias é um dos fatores críticos para a otimização do uso de recursos materiais, financeiros e de pessoas (CARTER; TOVEY, 1992).

Os dois tipos de incertezas bem determinadas na literatura, são as incertezas de início e de duração do ato cirúrgico (CARDOEN et al., 2010a). Em função destas incertezas o adequado agendamento de salas cirúrgicas é um problema de otimização combinatória de difícil desenvolvimento (CARTER; TOVEY, 1992).

Pequenas melhorias na eficiência do agendamento das cirurgias eletivas podem provocar significativa diminuição de custos para o hospital e por esta razão, o desenvolvimento de um modelo otimizado de agendamento é de extrema importância para o atendimento das necessidades sociais e institucionais (MIN; YIH, 2010a).

A aplicação de métodos estatísticos tem demostrado a capacidade de reduzir significativamente a espera de um paciente para qualquer tipo de tratamento médico, aumentando a efetividade e qualidade de seu tratamento (SELMA; MORI, 1999).

O tema de agendamento de cirurgias é algo extensamente estudado pela literatura. Autores como Magerlein (1978) estudam o assunto desde a década de 70. Desde aquela época havia a preocupação em encontrar uma maneira técnica, estruturada e organizada para se reduzir os custos operacionais envolvido na atividade hospitalar.

O trabalho é centrado na melhora do agendamento de cirurgias eletivas[1], com atenção ao nível de criticidade dos pacientes presentes na atual lista de espera para cirurgias.

---

[1] Cirurgia eletiva: é aquela cuja realização pode aguardar ocasião mais propícia, ou seja, pode ser programada. Geralmente ela é realizada após diversos exames, visando obter as melhores condições de saúde do paciente.

1.1 CIRURGIA ELETIVA

A literatura diverge em relação ao formalismo entre os tipos de cirurgia existentes devido ao fato de parte dos profissionais da área de saúde não diferenciarem as categorias urgência e emergência, considerando-as da mesma classe (LEWIS et al., 2013).

O adiamento de procedimentos cirúrgicos é uma prática que deve ser evitada ao máximo, além de trazer prejuízos tangíveis ao hospital, trazem prejuízos intangíveis aos pacientes, podendo comprometer o quadro clínico do mesmo.

Hilkhuysen et al. (2005) fizeram um acompanhamento das consequências de espera por cirurgia e projetaram um modelo conceitual geral destas consequência, que serão subdivididas em categorias e descritas nos itens a seguir.

Física

São diversas as doenças as quais os pacientes podem desenvolver, dependendo da natureza da doença, o atraso em seu tratamento pode causar a progressão gradual ou aguda do quadro clínico.

Diversos especialistas mencionam o potencial impacto da espera pelo ato cirúrgico no risco de morte do paciente, seja pela ocorrência de complicações no tratamento ou uma piora no prognóstico em longo prazo (HILKHUYSEN et al., 2005).

Psicológica

São definidas como consequências psicológicas de espera, os problemas intangíveis desenvolvidos nos pacientes que experimentam sua doença e seus sintomas por um tempo prolongado.

O aumento da ansiedade e do *stress* do paciente aumenta a probabilidade de ocorrência de episódios de elevação de pressão sanguínea, sangramentos mais intensos na cirurgia, redução de resistências imunológicas e transtornos psicossomáticos. (COSTA JUNIOR et al., 2012). E segundo o mesmo autor, um dos principais fatores que desencadeiam ansiedade nos pacientes é a espera passiva pelo tratamento de sua doença.

Social

Ao ser submetido à uma intervenção cirúrgica, o paciente é obrigado a deixar de cumprir, temporariamente, suas atividades sociais normais, tais como trabalhar ou estudar. Os atrasos nos procedimentos cirúrgicos podem impactar de maneira significativa no relacionamento pessoal e profissional do paciente.

O prolongamento do estado clínico do paciente impacta principalmente no ambiente corporativo, sendo muitas vezes, necessários ajustes na rotina de trabalho do paciente ou adaptações em seu posto de trabalho (HILKHUYSEN et al., 2005).

Fluxo típico de agendamento

O médico é o responsável pela classificação do paciente quanto à complexidade do procedimento necessário para seu tratamento. De acordo com a severidade do quadro clínico do paciente o médico definirá uma data ideal para o procedimento cirúrgico ser realizado.

Ao definir a data ideal para o procedimento cirúrgico do paciente, não se sabe se será possível efetuar o procedimento no dia definido. O gestor consultará a lista de espera de pacientes e se existirem leitos disponíveis a cirurgia do paciente será agendada. Caso contrário o paciente será cadastrado na lista de espera.

A criticidade do quadro clínico do paciente é considerada quando ele integra a lista de espera. Isso faz com que quadros mais graves tenham prioridade em relação a quadros menos graves.

Existe a possibilidade de procedimentos cirúrgicos serem adiados, caso isso ocorra, o médico deverá definir uma nova data para o procedimento que deverá ser reagendado. Se o procedimento for considerado prioritário, o mesmo será agendado em outra data, se não for considerado prioritário, ele voltará para a integrar a lista de espera.

Neste trabalho de mestrado um hospital escola público de cardiologia localizado na cidade de São Paulo foi estudado. O processo de agendamento cirúrgico desse hospital foi mapeado e analisado. O hospital disponibilizou um banco de dados contendo informações detalhadas sobre os procedimentos realizados no ano de 2014.

Nesse hospital existe um gestor que é responsável por agendar as intervenções. O critério de escolha utilizado para realizar tal tarefa é apenas a disponibilidade de leitos para o ato cirúrgico e a preocupação de se realizar um determinado número de cirurgias de modo a não utilizar horas extras. Quando o médico se depara com a necessidade de agendamento de uma cirurgia eletiva de alta prioridade, a cirurgia será agendada no primeiro horário possível. Dessa forma os casos prioritários não integram a lista de espera.

Nenhum tipo de estimativa da consequência de agendamento do ato cirúrgico é analisado ou ponderado. Sem a análise correta das consequências de agendamento das cirurgias eletivas, não é possível levar em consideração que os recursos alocados no momento de reserva de uma sala de cirurgia poderiam impactar em outras cirurgias que ocorrem no hospital.

Como consequência deste sistema de agendamento, muitas vezes são encontradas salas cirúrgicas inoperantes por falta de recursos, ou pelo término precoce de um procedimento. Em contrapartida, também era frequente a ocorrência de casos em que eram necessários gastos com hora extra, mostrando dois cenários contraditórios em um curto período de tempo. De acordo com Lamiri et al. (2008) esses cenários poderiam ser evitados através do agendamento otimizado das cirurgias eletivas.

1.2 OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo propor um modelo de otimização a ser aplicado para a alocação de pacientes cardiopatas eletivos em um número finito de salas cirúrgicas, em determinado dia da semana e equipe médica, em um hospital escola público de cardiologia por meio da aplicação conjunta e sequencial de dois modelos de Beliën, Demeulemeester (2005a) e Min, Yih (2010a).

O modelo desenvolvido por Beliën, Demeulemeester (2005a) e aplicado neste trabalho tem como proposta um método de otimização linear visando equalizar a utilização dos leitos pós-cirúrgicos, trazendo assim benefícios como menor quantidade de leitos necessários para atender a mesma quantidade de cirurgias e consequente a diminuição de equipes de enfermagem para o tratamento dos pacientes pós-cirúrgicos.

Já o algoritmo de Min, Yih (2010a), também utilizado neste trabalho, dispõe de métodos de cadeias de Markov e traz como plano a priorização na escolha dos pacientes eletivos, baseados na lista de espera atual e no seu possível estado futuro.

Esses algoritmos, em conjunto, irão simular diversas situações levando em consideração a prioridade dos casos, a complexidade do procedimento cirúrgico e a permanência necessária do paciente no hospital, tanto no ato cirúrgico quanto no pós-operatório.

As simulações irão reproduzir diversos cenários, e serão verificados os melhores panoramas visando a melhor distribuição do agendamento dos procedimentos cirúrgicos aliados aos menores custos possíveis para o hospital.

A proposta de trabalho é justificada pelos altos custos envolvidos dentro do cenário de cirurgias de um hospital citados na revisão bibliográfica e o que motivou a busca de um agendamento otimizado foram os bons resultados conseguidos por diversos autores na aplicação de métodos de aperfeiçoamento de agendamentos cirúrgicos.

1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em introdução, objetivo, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e conclusões.

Na introdução, indicam-se algumas das necessidades de se aperfeiçoar o agendamento cirúrgico, confirmado através dos números tirados da literatura técnica que indicam crescimento dos investimentos e da quantidade de cirurgias ao longo dos anos e comprovam as vantagens de se melhorar o processo. Também na introdução do trabalho são apontadas as dificuldades e desafios para se obter esta melhoria.

O objetivo indica a razão e qual o critério para escolha dos métodos aplicados na elaboração do trabalho

A revisão bibliográfica mostra a preocupação em trabalhos técnicos com a super e sub-utilização dos leitos cirúrgicos após as cirurgias, tais como: as dificuldades e problemas enfrentados com o agendamento realizado de forma manual; os custos envolvidos dentro de um cenário de agendamento cirúrgico; os impactos das variáveis indeterminadas no resultado previsto no agendamento cirúrgico, tais como: duração do tempo da cirurgia, duração do tempo de permanência, quantidade de cirurgias emergenciais; a importância de um sistema de classificação dos pacientes; os diversos métodos utilizados para resolver estes problemas, com uma atenção maior ao agendamento cíclico mestre com tratamento através do método de programação linear e agendamento prioritários de pacientes com tratamento através do método de cadeias de Markov.

A metodologia utilizada tem abordagem quantitativa por meio da aplicação dos modelos de Min e Beliën, de modo conjunto, com o propósito de aperfeiçoar a utilização dos leitos pós-cirúrgicos e definir a quantidade e a prioridade dos pacientes por tipo cirúrgico.

No capítulo de resultados é mostrado o ganho em se ter o agendamento de maneira criteriosa do que o agendamento de maneira aleatória.

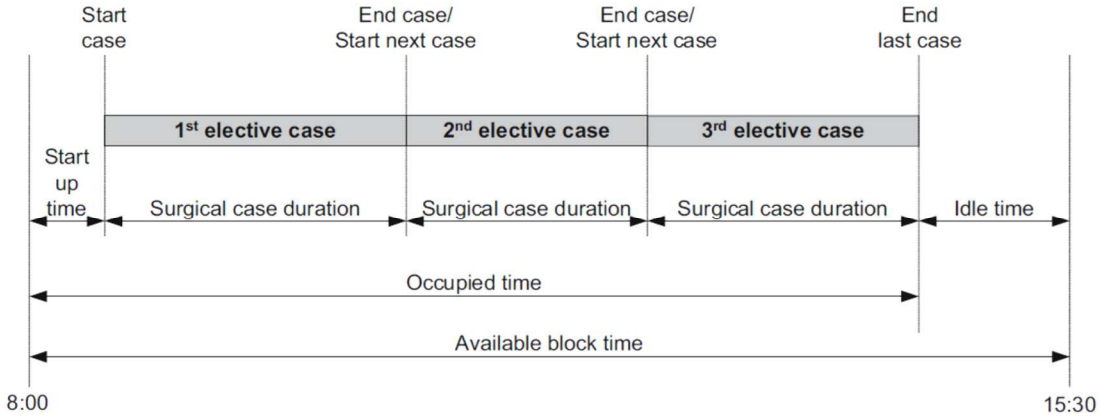
E, por fim, tem-se as conclusões tiradas de todo o estudo realizado neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A taxa de ocupação diária dos leitos para o tratamento de pacientes pós-cirúrgicos é uma variável que merece ser valorizada, pois os picos de utilização deste insumo leva a uma maior necessidade do mesmo e dimensionamento de maior equipe de enfermagem para cuidar daquele número de pacientes enquanto que a subutilização deste recurso conduz a leitos desocupados e equipes ociosas de enfermagens, o que nos orienta a uma tentativa de nivelamento da utilização deste recurso, através de um ótimo agendamento cíclico de cirurgias.

Em 1997 acreditava-se que uma taxa de ocupação ideal para os leitos cirúrgicos seria entre 80% a 85% (PATTERSON, 1997), havia uma grande pressão por conta da administração dos hospitais em que a ocupação atingisse o limite disponível. Esta ocupação pode ser observada e melhor compreendida através da Figura 1.

Figura 1 – Representação do momento medido



Adaptado de: (HOUDENHOVEN, et al., 2007)

Este pensamento incentivou alguns estudos de caso como o do Hospital Naval de Jacksonsville (HAMILTON, 2003), onde se constatou que as salas cirúrgicas eram utilizadas apenas 69,25% dos minutos disponíveis no ano, considerando, portanto, que o centro cirúrgico, de apenas sete salas, era subutilizado. Observou-se ainda sistema de agendamento e registro das cirurgias era feito de forma manual o que tornava o processo extremamente lento e de difícil recuperação do histórico para um estudo mais aprofundado.

O foco principal era redução dos custos buscando uma melhor relação entre ocupação e custo. Na tentativa de se medir a subutilização e superutilização (horas extras e

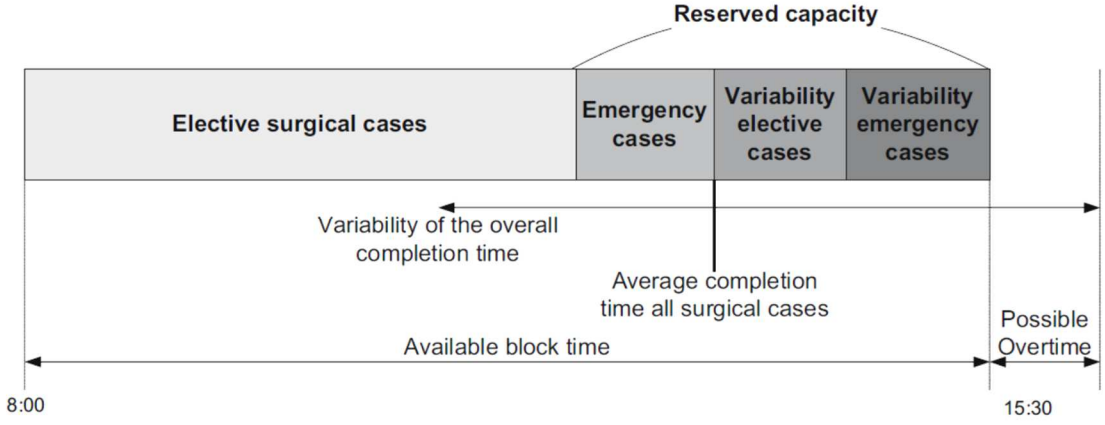
custos adicionais por exemplo) se observou que os custos eram altos nas duas situações e o foco deveria ser na correção da ineficiência do processo (STRUM et al., 1997).

A literatura sugere uma primeira hipótese de que um agendamento cirúrgico ideal é medido pela maximização da sua ocupação (WEINBROUM; EKSTEIN; EZRI, 2003), ou seja, o responsável pelo agendamento deverá ocupar todo o tempo disponível dos leitos e que os fatores para melhorar esta eficiência seriam observação continua dos pacientes, avalições repetidas e uma equipe considerada sábia em suas decisões.

Alguns estudos sobre agendamento de cirurgias eletivas utilizam programação linear inteira (BLAKE, DEXTER, DONALD, 2002; BLAKE, DONALD, 2002; MARQUES, CAPTIVO, VAZ PATO, 2011), considera o número total de leitos disponíveis por cada dia e o número de horas que cada leito pode ser alocado, com o objetivo de obter o máximo de ocupação disponível dos blocos cirúrgicos, podendo chegar em até 99,7% de ocupação.

Esta maximização da utilização se torna um problema uma vez que não há disponibilidade para cirurgias de emergência ou margem para lidar com qualquer variação que possa ocorrer, ou seja, o método apresenta um risco operacional em sua concepção, o que refuta a primeira hipótese. A distribuição de cirurgias eletivas e não eletivas no bloco é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição das cirurgias eletivas e não eletivas no bloco



Fonte: Houdenhoven, (2007)

De acordo com Patrick, Puterman e Queyranne (2008a), os custos em um centro cirúrgico podem ser divididos em três categorias: custo associado ao agendamento de um paciente, custo associado à utilização de recursos não planejados e custos associados à demanda não agendada.

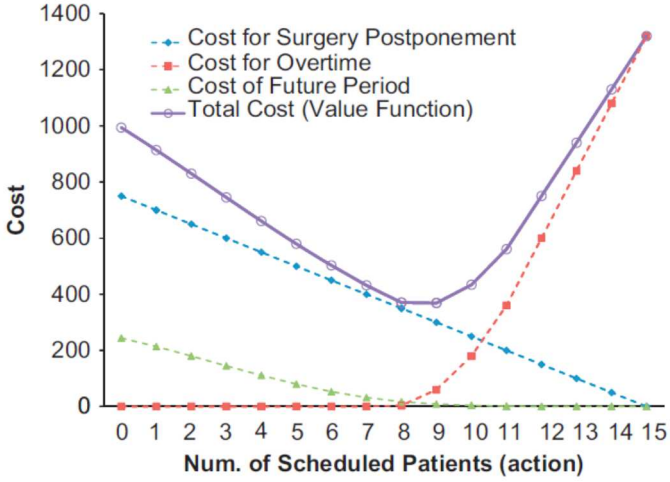
Segundo Lamiri et al. (2008), o agendamento de cirurgias eletivas impacta diretamente na alocação de recursos para cirurgias emergenciais. Não levar esse fator em

consideração pode provocar um aumento de custos não planejados com horas extra e material hospitalar.

De acordo com o mesmo autor, a adequada análise do agendamento das cirurgias eletivas aumenta a distribuição efetiva das cirurgias em um centro cirúrgico. Evitando gastos com adiamento de procedimentos cirúrgicos, por causa do acumulo de procedimentos em um dia, e diminuição dos gastos provenientes de salas ociosas, que poderiam estar sendo utilizadas para o atendimento de um paciente.

Somente maximizar a utilização do tempo disponível não garante um mínimo custo no processo. Isso é apresentado na
Figura 3.

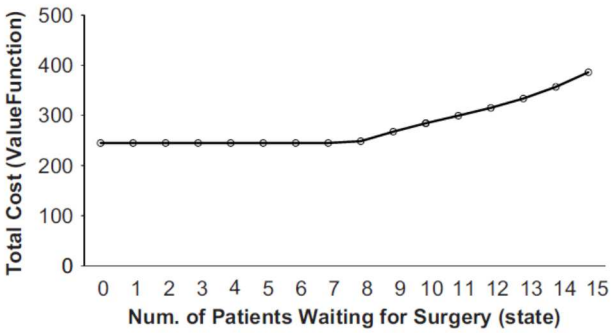
Figura 3 – Gráfico de custos em função do número de pacientes agendados



Fonte: Min e Yih, (2010a)

A espera dos pacientes gera um custo adicional que impacta diretamente dos custos totais. Uma margem de horas extras é aceitável para atingir o melhor balanço entre custo e ocupação dos leitos cirúrgicos. Um exemplo é mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico de custos em função do número de pacientes em espera (estado)



Fonte: Min e Yih (2010a)

Umas das informações essenciais para o agendamento das cirurgias é a duração estimada dos diferentes tipos de atos cirúrgicos (HURST; SICILIANI, 2003). As políticas de redução de espera e agendamento necessitam de evidências para monitorar e tomar ações a fim de melhorar e otimizar o processo.

Entretanto e difícil definir o inicio de qualquer período de espera de uma cirurgia eletiva para comparações internacionais. Alguns países envolvidos nestes estudos utilizam pessoas para observar o término da cirurgia, no entanto, esta prática acarreta em um atraso de informações entre o cirurgião e o especialista responsável pelo agendamento. Muitos países observam o número de pacientes na fila de espera, porém mais importante do que a quantidade de pacientes é qual o tempo de espera por paciente.

Alguns softwares de mercado, específicos para agendamento cirúrgico, utilizam o método de regressão para prever o tempo de operação ainda se mostram menos precisos que a previsão do cirurgião (WRIGHT et al., 1996) o que aponta para uma melhor precisão se a informação utilização de um histórico como base para a tomada de decisão.

Outro fator chave para um gerenciamento efetivo do centro cirúrgico, é o agendamento do procedimento cirúrgico do pacientes de acordo com a complexidade de tratamento (PATRICK et al., 2008a).

O sistema de classificação de pacientes é uma ferramenta importante por disponibilizar dados das condições do paciente. Esses dados auxiliam no dimensionamento dos recursos alocados para os tratamentos (ALWARD, 1983; WILLIAMS, CROUCH, 2006) .

Através da classificação do paciente, é possível estimar os recursos necessários para cada caso particular e, utilizando um agendamento eficiente de cirurgias, é possível evitar o acumulo de recursos em uma operação. O acumulo de recursos em uma única operação pode comprometer o tratamento de casos emergenciais e urgentes. (ALWARD, 1983; WILLIAMS, CROUCH, 2006).

A classificação de pacientes quanto à complexidade de tratamento, é uma atividade que deve ser estabelecida e estimulada nos hospitais. A maioria dos profissionais da área de saúde, não utiliza um procedimento de classificação de pacientes normalizado (PERROCA, 2007).

Existem sistemas de classificação específicos como para colecistectomia laparoscópica (PLANELLS ROIG et al., 2008), mas por outro lado ainda não existe um sistema padrão internacionalmente reconhecido para classificar os pacientes para cirurgias

eletivas o que leva a classificação da priorização em função da criticidade ou necessidade de cirurgia ser responsabilidade do médico a cargo do paciente.

Apesar do agendamento de um paciente critico ser prioritário, deve-se considerar que o adiamento de uma paciente considerado não crítico, pode levar ao agravamento da sua condição e consequentemente ao aumento dos custos (MIN; YIH 2010a).

Cardoen et al. (2010b) realizaram uma extensa revisão bibliográfica em trabalhos relacionados o agendamento de cirurgias. Os autores selecionaram e reuniram diversos trabalhos para serem avaliados e os dividiram nas seguintes categorias:

a) características dos pacientes: dividindo as pesquisas feitas para cirurgias eletivas e de emergência;
b) medidas de desempenho: avaliando os critérios de avaliação empregados tais quais tempo de espera, tempo de adiamento da cirurgia, valores financeiros ou quantidade de intervenções realizadas dentro do horizonte estudado;
c) nível de decisão: indicando qual tipo de decisão deve ser tomada, seja ela data, tempo, número de salas ou capacidade da sala cirúrgica. Além disso dividiu trabalhos cuja decisão esteja situada na disciplina/técnica a ser usada, no tipo de cirurgião necessário ou no nível de atenção ao paciente;
d) tipo de análise: classificando os estudos em otimização do problema, em alguma tomada de decisão necessária para resolver o problema, uma análise de cenário, uma análise de complexidade ou um tratamento estatístico de dados;
e) técnica de solução: um *overview* nos procedimentos de solução empregados tais quais métodos de programação matemática, modelo construtivo heurístico, simulação ou abordagem analítica;
f) incertezas: indicando se os pesquisadores incorporaram uma abordagem estocástica ou determinística;
g) aplicação da pesquisa: tratando qual a aplicação e quais eram as implementações práticas.

2.1 MÉTODOS DE SOLUÇÃO APLICADOS NO AGENDAMENTO

É comprovado que a utilização de uma simples análise baseada na variação do tempo de cirurgia pode apresentar reduções substanciais no quadro de espera de procedimentos cirúrgicos, melhorando o custo com mão de obra e horas extra. (DENTON et al., 2007)

A maior dificuldade encontrada para se adaptar uma rotina real à simulações em um ambiente virtual é o fato de que, no mundo real, as atividades de qualquer projeto estão ligadas à incertezas dos mais variados tipos. Para que seja possível a adequada simulação de situações reais em meio virtual são necessários artifícios estatísticos, com a finalidade de prever essas incertezas. (HERROELEN; LEUS, 2005)

Evidencia-se que no agendamento de qualquer tipo de serviço, uma análise estatística é necessária, com a finalidade de se prever o comportamento e distribuição de recursos. No artigo de Xhafa (2010), pode se ver a comparação da utilização de modelos heurísticos e meta-heurísticos. Mostrando as principais características de cada método.

Existem diversos métodos para a resolução de problemas referentes à agendamentos. Alguns estudos aplicam inteligência artificial para o planejamento e agendamento em ambiente hospitalar (SPYROPOULOS, 2000), outros aplicam programação linear, programação dinâmica (horizonte finito de Markov), os algoritmos branch-and-bound (BELIËN; DEMEULEMEESTER, 2008) e heurísticas de busca local. Cada método possui uma finalidade e um cenário de melhor utilização (BRUCKER, 2007) e podem englobar não só as cirurgias eletivas como considerar as incertezas das cirurgias não eletivas (emergências e de urgência) (GERCHAK; GUPTA; HENIG, 1996).

Métodos exatos e heurísticos possuem como diferença básica a garantia da otimização. Os algoritmos exatos garantem uma solução otimizada para um problema proposto. Em contraste, os métodos heurísticos, também chamados de processos subótimos, são projetados para retornar a melhor solução (BELIËN, 2006) para um problema.

2.2 AGENDAMENTO CIRÚRGICO MESTRE

Agendamentos cíclicos mestres (ACM), são agendamentos repetidos após um certo período (referido como tempo cíclico); durante este tempo cíclico pode-se ter um número de períodos no qual as cirurgias não podem ser realizadas. Estes períodos são referidos como

períodos inativos, e os outros são os ativos. Tipicamente, períodos cíclicos são múltiplos da semana no qual os finais de semana são os períodos inativos.

O grande problema enfrentado em um agendamento cíclico mestre é quanto a utilização de leitos dos pacientes pós-cirúrgicos. Um agendamento cíclico mestre sem critério possivelmente apresentará uma super e subutilização de leitos, e consequentemente maiores custos ao hospital para suportar estas utilizações precárias do recurso.

Portanto para o presente trabalho foi escolhido um método para otimização do agendamento cíclico mestre.

O que chama a atenção para o aperfeiçoamento do ACM foram os relevantes ganhos pós cirúrgicos feitos com a diminuição das equipes de enfermagem necessárias para atender a demanda de leitos, a capacidade de leitos, e capacidade de recursos disponíveis pelo hospital que são alguns exemplos do ganho de um bom agendamento cíclico mestre, visando a diminuição de leitos, que não são propostas de outros métodos de otimização de agendamentos cirúrgicos.

O cenário das cirurgias desde o agendamento ate a recuperação do paciente, é um desafio ao gestor do hospital, por sua natureza estocástica, e merece atenção devido aos enormes custos envolvidos.

O agendamento de cirurgias eletivas é um procedimento já muito estudado na literatura e demonstra bons resultados quando aplicados métodos de otimização para aperfeiçoar este procedimento.

Conforme revisão bibliográfica na literatura diferentes métodos e objetivos são estudados afim de alcançar um agendamento de forma mais otimizada.

Uma das preocupações no agendamento cirúrgico é quanto a minimização dos custos cirúrgicos e maximização dos lucros da cirurgia.

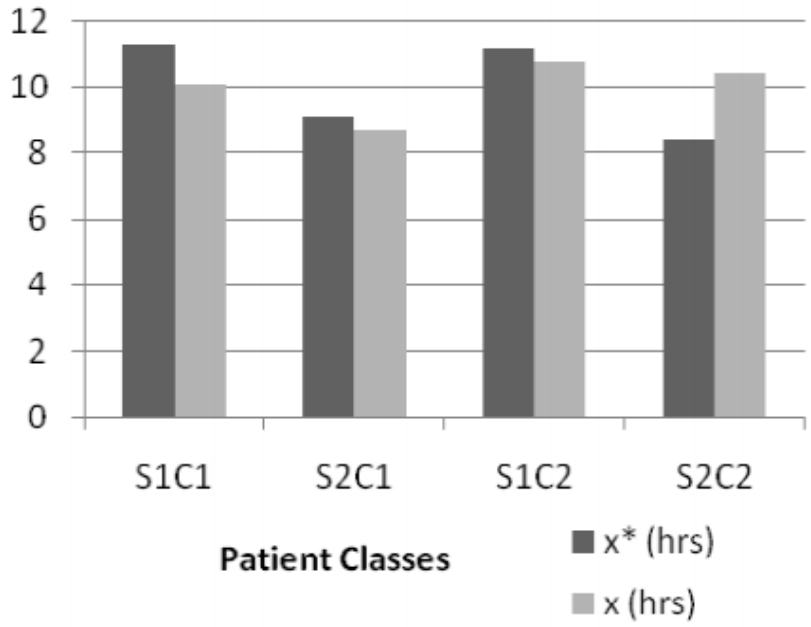
Stanciu et al. (2010) afirmam que o agendamento de pacientes para cirurgias eletivas é desafiador em situações nas quais a capacidade dos blocos cirúrgicos é incerto. Os autores estudaram a aplicação de técnicas de gerenciamento para diversos tipos cirúrgicos em um sistema de reembolso dos custos dos procedimentos.

Ao contrário do que é feito em pesquisas anteriores, nas quais o critério de priorização geralmente corresponde ao grau de urgência da intervenção, nesse estudo os autores priorizaram o retorno financeiro por unidade de tempo esperado ao realizar-se a intervenção em um determinado paciente.

A abordagem dos autores concentra-se em requisições de agendamentos baseando-se na hipótese que cada requisição irá consumir uma quantidade de tempo randômica. Os autores

criaram e usaram uma versão modificada do algoritmo de Belobaba (1989) para propor uma solução quase ótima para diversas classes de pacientes. O objetivo do algoritmo heurístico proposto é o de obter a distribuição dos parâmetros que especificam as condições de contorno (x*), ao invés de utilizarem-se tais parâmetros fixos ou provenientes da literatura (x). Uma comparação entre os parâmetros otimizados e os parâmetros fixos para diferentes classes de pacientes (SiCj) é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Comparação entre os parâmetros otimizados e os parâmetros fixos



Fonte: Stanciu et al., (2010)

São propostos para cada horizonte de planejamento quanto tempo reservar para satisfazer a demanda para cada tipo de classe de paciente, baseando-se num tipo de procedimento cirúrgico e no nível de classificação de reembolso no qual o paciente está enquadrado.

Os autores apresentaram diversas implementações e resultados do algoritmo. Tais resultados foram comparados com os resultados otimizados apresentados por Stanciu (2009). As simulações realizadas foram executadas para balancear os prejuízos esperados entre

quaisquer classes adjacentes de pacientes ao não priorizar a capacidade suficiente para essas classes.

Lamiri et al. (2008) propuseram uma comparação entre métodos de otimização para agendamento de leitos usados em cirurgias eletivas. A função objetiva é minimizar os custos de horas extra e os custos diretos envolvidos na internação dos pacientes. Resultados provenientes de métodos mistos, como aqueles que combinam simulação por Monte Carlo e programação inteira, são comparados com resultados de métodos heurísticos e meta-heurísticos.

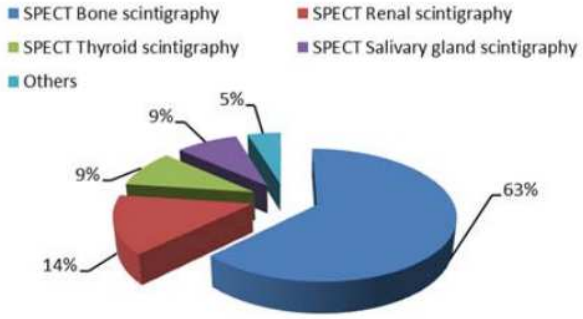
Ao longo do trabalho os autores apresentam os detalhes das variáveis envolvidas no problema, como o horizonte de tempo, o conjunto de pacientes com cirurgia eletiva, os blocos cirúrgicos disponíveis, as horas previstas de dedicação em cada tipo de cirurgia. Daí apresentam os resultados de otimização usando o método de Monte Carlo, o qual os autores consideram como sendo a referência “exata”.

Então tratam das propriedades de convergência desse modelo, apresentando as hipóteses simplificadoras, os teoremas empregados e suas respectivas provas. Na sequência mostram os métodos heurísticos e meta-heurísticos bem como os experimentos computacionais simulando uma condição na qual as cirurgias eletivas correspondem a 85% das intervenções realizadas.

A conclusão dos autores é que a simulação de Monte Carlo traz resultados mais consistentes ao reduzir o custo total das cirurgias. Além disso, afirmam que esse método permite a incorporação de parâmetros que melhor representem as situações reais experimentadas em um ambiente hospitalar.

Tang et al (2014) apresentaram um estudo sobre o gerenciamento de alocação de leitos para realização de exames no departamento de medicina nuclear do West China hospital. Os autores clamam por terem apresentado um modelo inovador ao converter o lucro econômico em valores unitários e criarem um modelo para analisar o volume de agendamentos alocados entre pacientes que entram e saem do hospital. A função objetivo é maximizar os valores unitários e atribuir um volume de alocação ótimo para os agendamentos de entrada. Dessa forma foi possível acelerar a troca de leito e reduzir o número de dias nos quais o paciente permanece ocupando o mesmo. Assim sendo conseguiram aumentar o lucro do hospital. Inicialmente os autores analisaram a proporção de cada exame executado no departamento de medicina nuclear. Essa proporção é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Proporção de cada exame executado no departamento de medicina nuclear



Fonte: Tang et al., (2014)

Os autores então tomaram como meta estudar o exame de cintilografia óssea. Utilizando-se do banco de dados de pacientes que lá estiveram entre abril de 2013 e março de 2014, utilizaram seu algoritmo e compararam seus resultados ao modelo clássico de Littlewood (2005).

Conseguiram demonstrar que o modelo de gestão de agendamento de exames não deve incorporar apenas a média de agendamentos passados. O modelo deve adicionar parâmetros variáveis que dependem da observação da tendência diária além de utilizar o número de cirurgias agendadas para a semana em estudo. Dessa forma é possível maximizar os lucros decorrentes da realização de exames cujos resultados suportam e dão apoio à realização de cirurgias.

Oostrum (2006) Utilizou o métodos de heurística para planejamento de períodos de folgas no agendamento baseados em dados estatísticos históricos da distribuição das durações das cirurgias e métodos de busca local (*local search*) os quais relacionavam a cirurgia à sala cirúrgica com o objetivo de conseguir a otimização do agendamento de cirurgias por especialidade de uma maneira que os riscos extras fossem minimizados, cirurgias não fossem canceladas e a utilização das salas cirúrgicas fossem aperfeiçoadas, a qual resultava em um tempo cirúrgico disponível para determinada cirurgia de tal maneira que diminuía o risco de sobre utilização das salas cirúrgicas.

O método demonstrou que algoritmos inteligentes liberam muita capacidade de salas cirúrgicas dentro do limite de risco aceitável de horas extras, e que cirurgias agrupadas por especialidades com duração e variabilidade similares geralmente aumentam a eficiência das equipes cirúrgicas, este agrupamento pode ser realizado através de um agendamento mestre cirúrgico.

Pham e Klinkert (2008) propõe um modelo de programação linear inteira que identifica e analisa o agendamento de casos cirúrgicos os quais podem ser vistos como um processo abrangente de agendamento no qual o agendamento fornece ao paciente alguma data futura para cirurgia, e determina a sequencia e recurso relacionado aos casos cirúrgicos no dia.

O autor baseia o modelo desenvolvido para o desenvolvimento de agendamentos cirúrgicos análogos a um problema de *job-shop scheduling*, com o objetivo de criar um agendamento que minimiza o tempo total do ultimo procedimento a sair do sistema para um dado conjunto de casos cirúrgicos.

Dentro de um cenário cirúrgico o modelo proporciona como resultado uma visão holística de todas as atividades e restrições de recursos em uma sala cirúrgica ao invés de focar apenas em um estágio individual como salas cirúrgicas ou unidades de tratamento intensivo.

O objetivo de se ter a diminuição da escassez de leitos de um hospital também é muito empregado na literatura para o desenvolvimento de agendamentos cirúrgicos.

Normalmente em atividades corriqueiras de hospitais, os pacientes devem aguardar em filas. Sejam elas para fazer seu registro de entrada, seja para aguardar a execução de um exame. Além de representar uma perda de eficiência operativa, fazer o paciente aguardar em filas representa uma série de possíveis riscos sociais e de saúde uma vez que o mesmo está exposto ao ambiente hospitalar. Dessa forma é fundamental apresentar e utilizar um modelo eficiente para fazer a gestão de leitos e reduzir o tempo de espera gasto com filas.

Na literatura existem diversas técnicas cujas propostas são reduzir o desperdício de tempo e otimizar a eficiência operativa. Han et al. (2010) propuseram um modelo de agendamento de leitos baseado na gestão da prioridade (*priority sort*). Os resultados desse modelo são usados para ajustar a estadia de pacientes em um hospital que não foi citado. O algoritmo proposto utiliza a lógica Fuzzy. O trabalho dos autores traz uma comparação numérica entre os resultados do modelo proposto por eles e os resultados obtidos através do modelo de que o primeiro paciente que chega é o primeiro a ser atendido. Os autores mostram uma melhoria de desempenho que pode chegar em até 60% no caso de pacientes cuja intervenção desejada é a de cataratas.

Os autores Oostrum, et al (2006) utiliza-se do método de geração de colunas (*Column Generation*), com o objetivo de desenvolver um agendamento cíclico mestre para agendamento de cirurgias eletivas, de maneira que a necessidade dos departamentos

subsequentes como enfermagem e recursos como leitos pós cirúrgicos são nivelados o máximo possível.

Definindo um ACM como um agendamento ciclicamente executado em um dado período de planejamento.

O trabalho proposto analisa um algoritmo para implantação de um agendamento cirúrgico mestre (ACM), utiliza-se de dados como frequência de procedimentos cirúrgicos, duração da cirurgia e uso de leitos após os procedimentos cirúrgicos, o ACM resultante minimizou a capacidade de salas cirúrgicas de um conjunto de procedimentos cirúrgicos assim como nivelou o requerimento de leitos.

Mustafee et al. (2012) verificaram que a escassez dos leitos em um hospital como uma restrição relevante a um possível aumento de cirurgias cardíacas e utilizou a simulação de Monte Carlo e simulação de eventos discretos para melhorar o planejamento de capacidade de leitos em um hospital de cirurgias cardíacas, buscando otimizar o uso desse recurso.

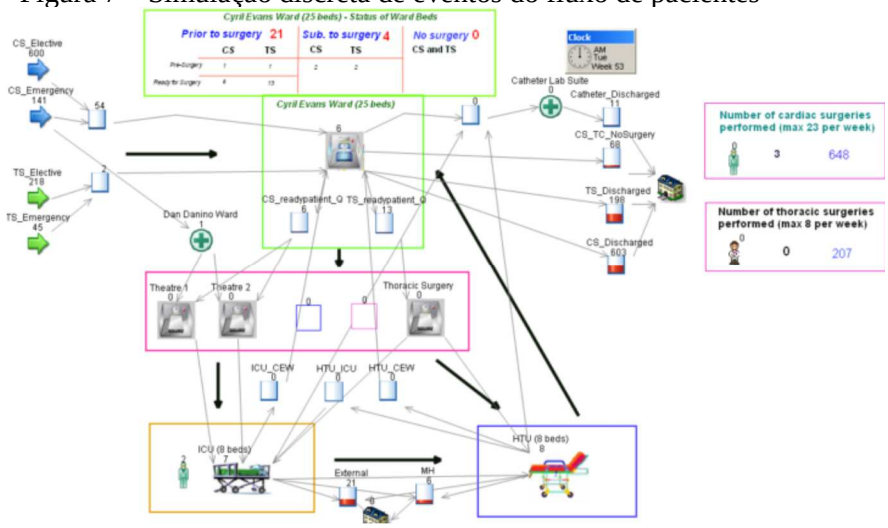
Através da análise de dados do hospital de Março de 2009 até Outubro de 2010 para se conseguir uma média e desvio do tempo de permanência de cada paciente.

O método de Monte Carlo verificou o impacto de se variar o cenário de agendamento e a capacidade de leitos nos diferentes níveis de atividade, verificando como resultado as taxas de cancelamento por falta de leitos. A simulação de pacientes foi feita de acordo com um cenário de agendamento pré-definido e simulou aleatoriamente períodos de permanência baseados na distribuição de tempos de permanência encontradas através da análise dos dados, após esta simulação os autores utilizaram de análise de eventos discretos para verificar a escassez de recursos do hospital.

Já o segundo considera que os pacientes façam o agendamento de forma dinâmica na medida em que vão necessitando do compromisso. Ou seja, que eles façam um novo agendamento após o inicial já ter sido feito.

Em ambos modelos existem rotinas baseadas em decomposição para tornar a solução dos problemas mais eficiente. Resultados numéricos são apresentados para ilustrar o impacto das incertezas no agendamento dinâmico. Além disso os autores identificam importantes considerações que podem ser aplicadas na prática. O modelo é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Simulação discreta de eventos do fluxo de pacientes



Fonte: Mustafee et al., 2012

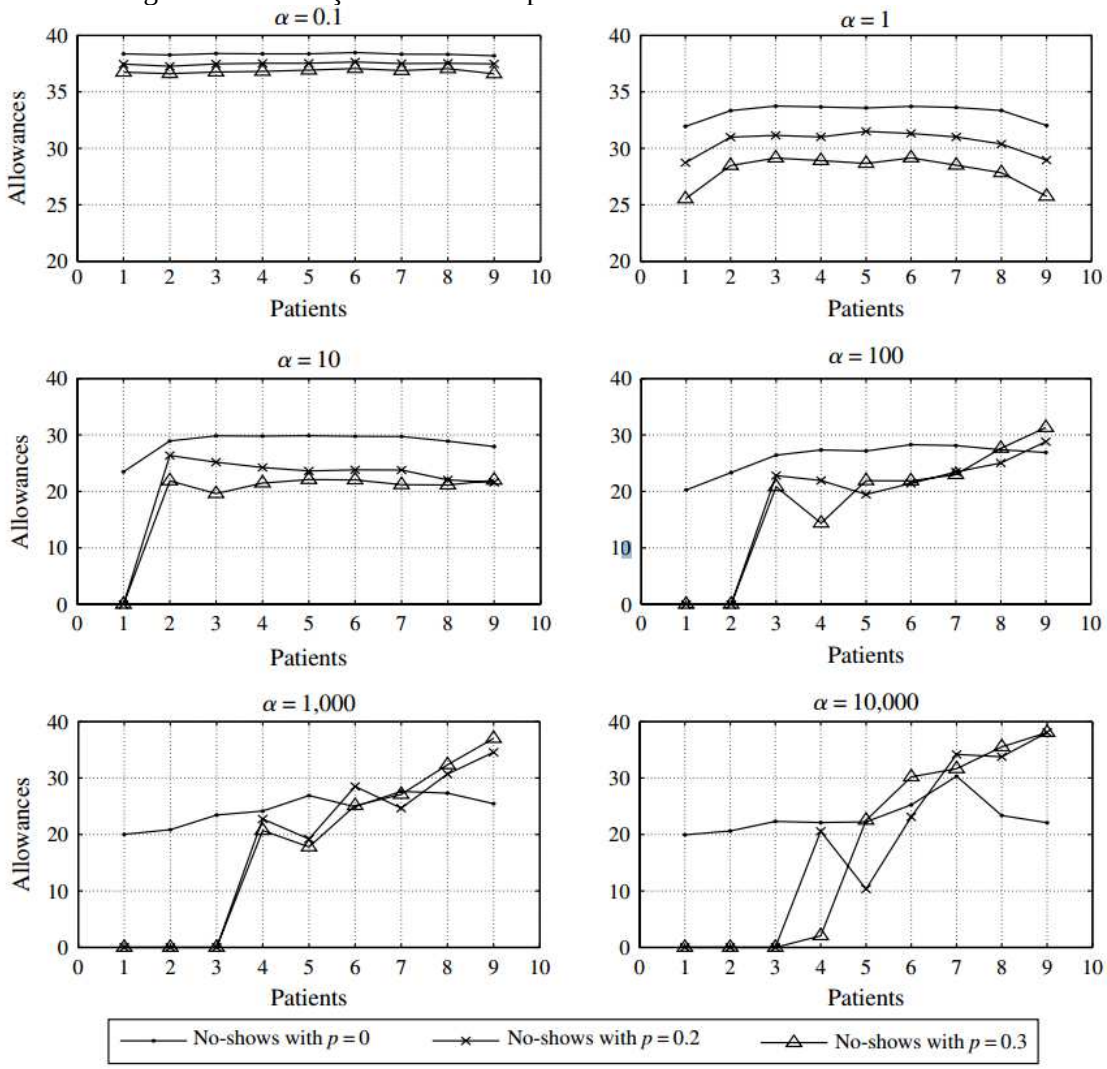
Como resultado os autores indicaram uma visão geral do sistema e relataram uma necessidade de uma simulação discreta de eventos mais detalhada para ajudar o gestor de leitos do hospital.

E diversos são os métodos utilizados para se conseguir um agendamento ótimo das cirurgias. Pode-se citar métodos como programação linear, métodos de busca, métodos heurísticos. Segue alguns métodos de programação linear encontrados na literatura para resolver o problema de agendamento cirúrgico.

Zhang (2009) utiliza método de programação inteira mista com horizonte finito para atribuir capacidade de salas cirúrgicas para diferentes especialidades médicas com o objetivo de minimizar o tempo de permanência dos pacientes que aguardam pela cirurgia, este método é alimentado pela meta semanal considerada já definida anteriormente e usa esse parâmetro para resolver um modelo que minimiza o déficit entre a capacidade de salas cirúrgicas semanais e sua meta, o Autor conseguiu através da simulação de seu método aplicado a um cenário real verificar uma redução de 5,15 dias para 2,23 dias no período de espera da cirurgia, resultado atingido através da suavização da curva de utilização de capacidade (o desvio padrão da utilização das salas cirúrgicas não emergenciais ficou 26% menor).

Erdogan e Denton (2013) formularam e desenvolveram 2 algoritmos de programação linear estocástica para realizar o agendamento dinâmico sob demanda. A hipótese inicial adotada pelos autores é que o número de pacientes a serem assistidos em um dia em particular é incerto. O primeiro algoritmo incorpora a possibilidade do paciente não comparecer ao compromisso (*no-show*) mesmo que o tenha sido agendado. Simulações incorporando diversas possibilidades de não comparecimento são apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Simulações contendo 3 possibilidades de *no-show*

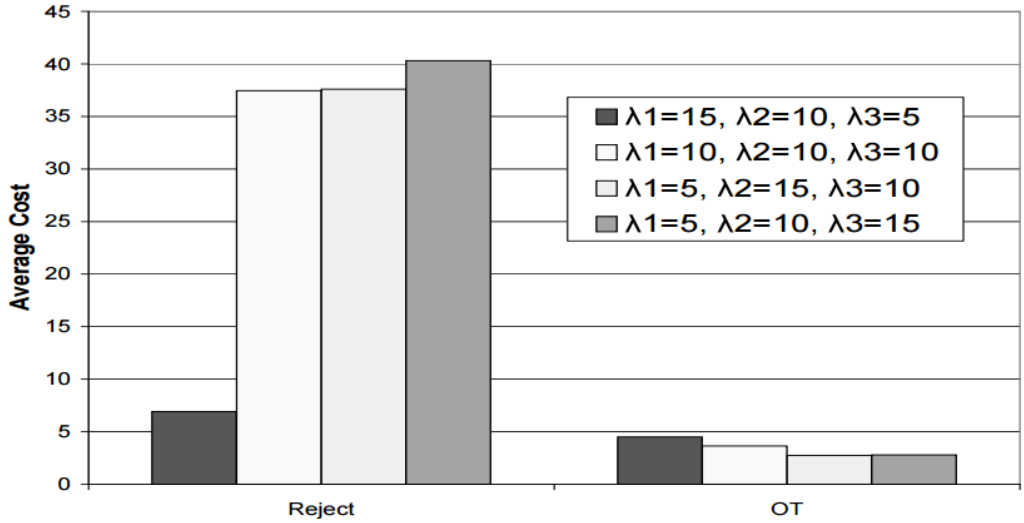


Fonte: Erdogan e Denton, (2013)

Patrick et al. (2008b) apresentaram um método para agendamento dinâmico de pacientes considerando diversos fatores de prioridade. Ao invés de maximizar o lucro do centro de diagnósticos, os autores abordaram o tema de decidir como alocar a capacidade disponível de tal forma que a variável tempo de espera sejam reduzidos de maneira eficiente. O modelo utilizado baseia-se no processo de decisão de Markov. Foi utilizada programação linear através da programação dinâmica.

Dois teoremas, apresentando uma aproximação linear ótima para duas potenciais estruturas de custo, são detalhados. O custo médio entre aceitar o pagamento de horas extras e para postergar a cirurgia foram estudados utilizando-se diferentes distribuições que representam cenários distintos. Uma comparação entre essas políticas, variando-se um dos parâmetros da função custo é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Exemplo de balanceamento entre os custos relacionados as horas extras e o custo do adiamento



Fonte: Patrick et al., (2008b)

Os resultados recomendam uma política de agendamentos que pode ser facilmente implementada para gerenciar os tempos de espera para diversas situações distintas.

2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR

A programação linear é uma das técnicas mais utilizadas na área de pesquisa operacional, é utilizada para resolução de problemas de alocação de recursos.

Esta técnica foi desenvolvida após a Segunda Guerra Mundial, e teve grande avanço no ano de 1947, com a criação do método *Simplex*. Para Hillier (2013), o desenvolvimento desta técnica foi um dos maiores avanços científicos da metade do século XX.

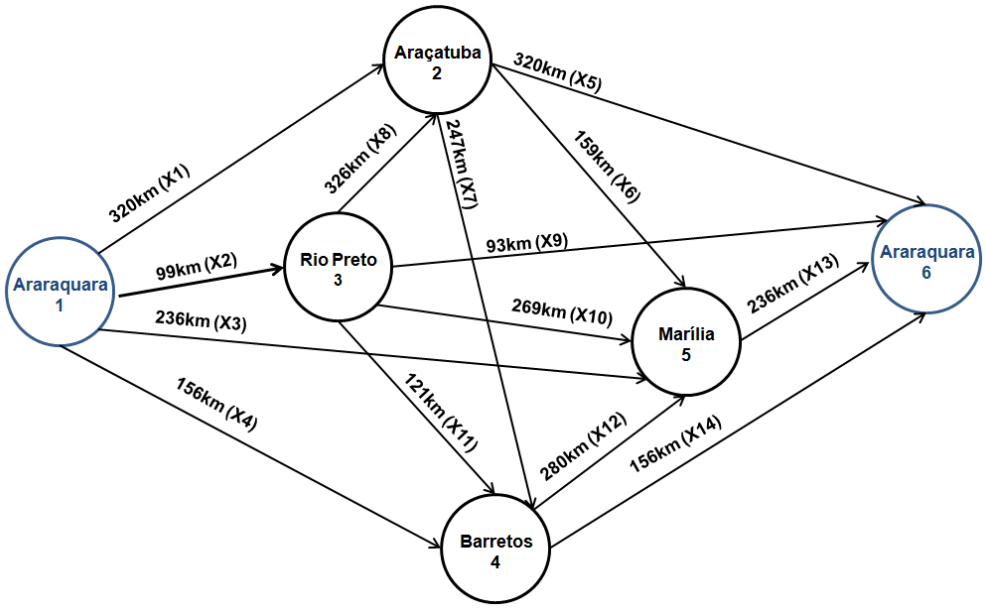
Segundo Andrade e Siqueira (1995) problemas de alocação de recursos para análise através da programação linear devem possuir as seguintes características:

a) o objetivo pode ser descrito em função das variáveis de decisão do problema;
b) haverá restrições em relação à quantidade e à forma de utilização dos recursos;
c) há a possibilidade de representar o problema por meio de um modelo de otimização, sendo que todas as relações matemáticas serão lineares.

A programação linear pode ser aplicada em uma grande quantidade de áreas, e é utilizada para a resolução de problemas de diversos tipos.

Um exemplo a utilização da programação linear pode ser encontrado no trabalho de Silva e Correia (2014). Neste exemplo foi analisada a redução de custos de operação de um sistema logístico. O diagrama de redes com as rotas possíveis do sistema é apresentado na Figura 10.

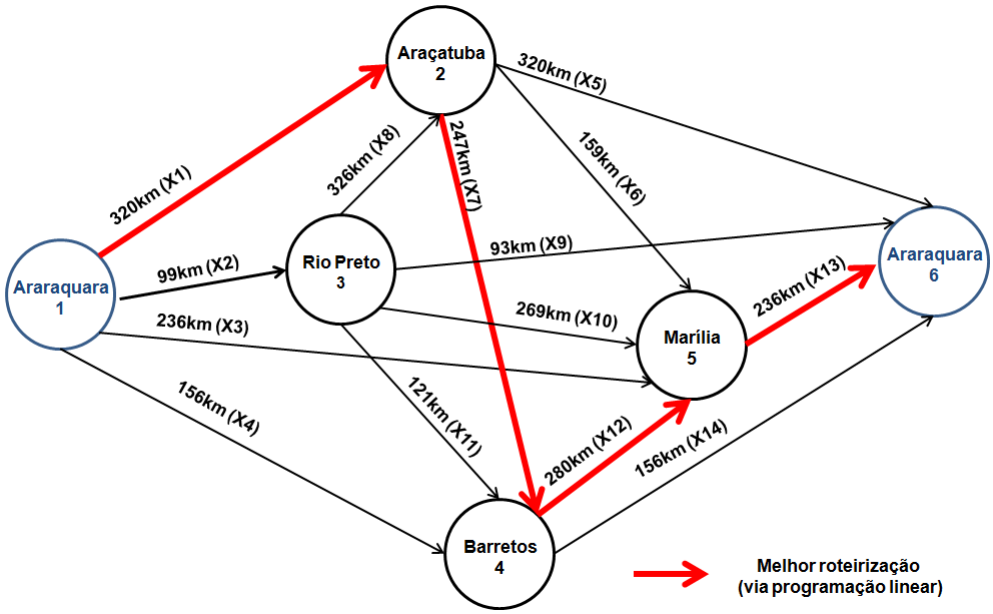
Figura 10 – Diagrama de redes



Fonte: Bloch et al., (2014)

A utilização da programação linear teve como objetivo definir a melhor rota possível utilizando como critério a quilometragem e como restrições a obrigatoriedade de passar pelas cidades de Araçatuba, Barretos e Marília. Após realização da análise através da programação linear, a rota foi definida, e é mostrada na Figura 11.

Figura 11 – Solução gráfica proposta



Fonte: Bloch et al., (2014)

Mais um exemplo de utilização da programação linear pode ser encontrado nos estudos de (RUFINI, 2014). Através da utilização da técnica de programação linear, a autora propôs um cenário de exploração em faixas da área de corte de madeira no cerrado do estado de Minas Gerais. Este novo cenário permite um melhor manejo florestal, tornando-o sustentável.

2.3.1 Processo de decisão de Markov

A definição de utilização de um método em relação à o outro, deve levar em consideração a situação à qual se deseja analisar. Se existirem variáveis aleatórias ligadas à minha simulação, o método de análise indicado é o método estocástico, caso contrário, será o método determinístico. O agendamento de leitos cirúrgicos é considerado estocástico quando considerasse a criticidade do paciente.

Método estocástico são definidos como um método probabilístico de análise de estados indeterminados, aonde existam variáveis indeterminadas e mutáveis. (FONSECA; APLICADA, 2005). Estes métodos são aplicados para modelar a natureza randômica de sistemas e processos complexos.

Por ser usado em análise de situações aonde as variáveis são mutáveis de acordo com diversos fatores, este método é utilizado nos mais diversos ramos de estudo como ciências naturais, física e música (DEBASTIANI, 2008).

Estes modelos permitem uma aplicação objetivando obter valores esperados e variâncias de medidas de desempenho sob uma variedade de condições (KOPACH-KONRAD et al., 2007). Também podem ser empregados para desenvolver políticas de tomada de decisão que seguem regras de otimização do desempenho do sistema ou processo esperado em paralelo com a redução dos riscos inerentes.

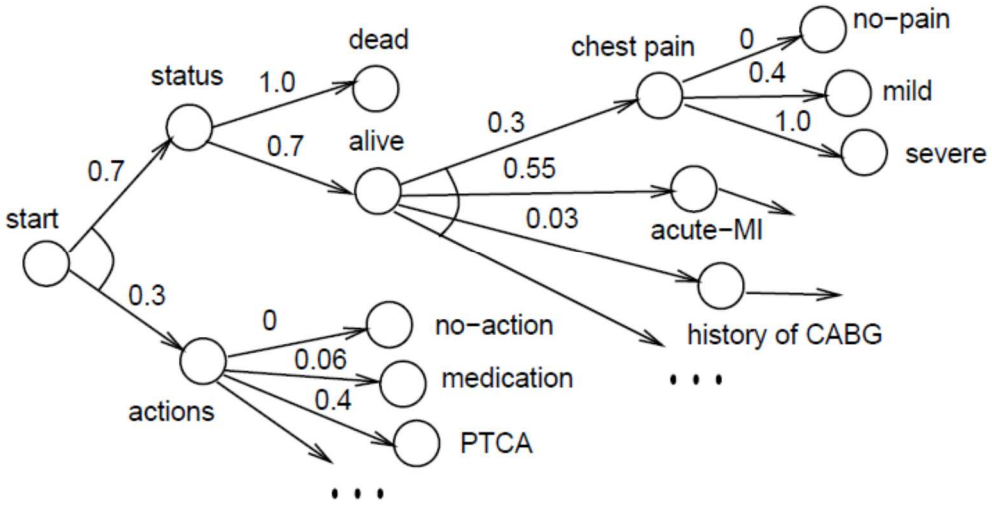
Modelos de filas, Cadeias de Markov, Processo de Wiener (ou *Brownian Motion*) e Processo de Decisão de Markov são tipos comuns de modelos estocáticos. Um processo considerado estocástico tem a propriedade markoviana se os estados anteriores do processo são irrelevantes para a predição dos próximos estados, desde que o estado atual seja conhecido.

Atualmente, os métodos de Markov tem sido estudados e aplicados em diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, ciências biológicas, sociais e administrativas (BENJAMIN, LUSSEAU, 2003; HEATH et al., 2008) e nas áreas de foco deste trabalho que são as áreas de planejamento e tomada de decisões no ambiente hospitalar. Estes métodos podem ser considerados como uma técnica de maximização de processos(BAUM et al., 2011).

O Processo de Decisão de Markov foi utilizado para a tomada de decisões referente ao tratamento de doenças do coração (HAUSKRECHT; FRASER, 2000a) e o autor aponta que apesar de oferecer uma gama poderosa de propriedades, o modelo adotado não é suficiente para modelar problemas de decisão muito complexos, pois o

problema chave seria assumir que todos os estados que definem a dinâmica do sistema são iguais para o observador o que sabe-se que estes podem variar em função do tempo. A afirmação está correta para diagnósticos de doenças coronárias, entretanto, se considerar em agendamentos cirúrgicos a observância dos estados (leitos disponíveis) são iguais perante qualquer observador. Um exemplo é mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Exemplo do modelo adotado para aplicação de Markov



Fonte: Hauskrecht e Fraser, (2000b)

Em um especifico ponto no tempo, o gerenciador escolhe uma ação. A escolha da ação produz dois resultados: o gerenciador recebe uma recompensa imediata (ou custo imediato) e o sistema modifica para uma nova condição de estado em um próximo ponto de decisão de acordo com a distribuição de probabilidade determinada na escolha da ação.

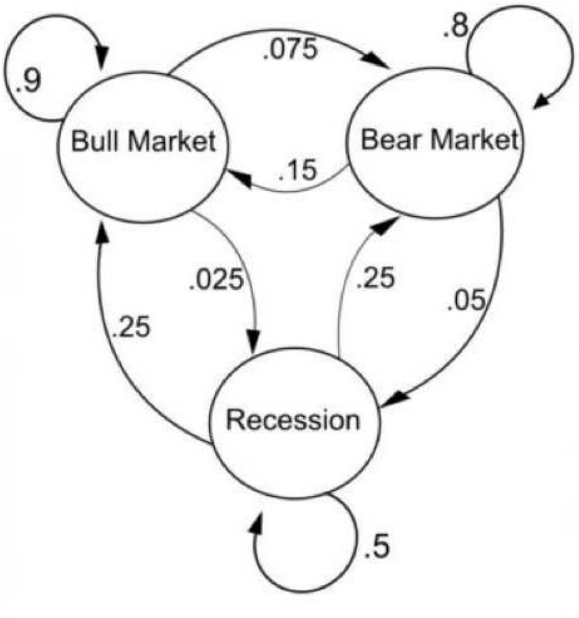
O grande desafio na otimização do agendamento de cirurgias eletivas consiste na atribuição de casos eletivos em diferentes períodos evitando acúmulo de recursos necessários para um determinado período, minimizando assim os custos relacionados ao tratamento dos paciente eletivos e custos de horas extras de salas de cirurgia (LAMIRI et al., 2008).

Para o sucesso da otimização de agendamento de cirurgias eletivas, deve-se estimar com precisão o tempo de utilização da sala de cirurgias o que reforça a necessidade de um banco de dados com o histórico real dos tempo utilizados (SHUKLA et al., 1990). No entanto Zhou e Dexter (1998) definem o uso de uma distribuição logarítmica-normal para aproximar a estimativa de duração das cirurgias.

Este tempo de utilização está diretamente ligado ao nível de criticidade do quadro clínico do paciente. A variável de criticidade de tratamento é considerada uma variável aleatória, pois qualquer paciente de qualquer tipo de cirurgia pode apresentar um quadro de alta, média ou baixa criticidade.

Uma cadeia de Markov é um tipo especial de processo estocástico criada pelo matemático Andrey Markov em 1906 conseguiu os primeiros resultados para estes processos e que possui a chamada propriedade markoviana. Um exemplo é mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Exemplo de cadeia de Markov



Fonte: Grinstead e Snell, (2010)

Outro exemplo do emprego de Markov foi para o agendamento de pacientes para radioterapia (SAURÉ et al., 2012). A urgência de uma terapia de radiação pode variar para diferentes tipos de câncer e indicações, e pode ser caracterizado como urgente ou de rotina. Atrasos na terapia de radiação tem consequência direta não apenas no desbalanceamento entre capacidade e demanda, mas também no resultado de um agendamento de pacientes ineficiente.

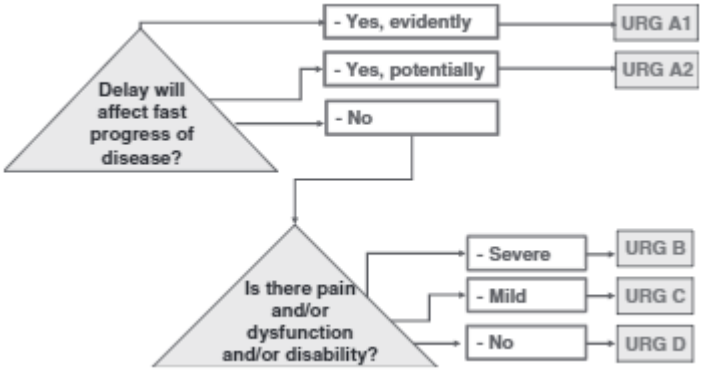
O método de Markov foi considerado de fácil implantação em um estudo semelhante (GOCGUN et al., 2011) onde foi aplicado para decisão de agendamento de pacientes de múltiplas categorias para tomografia computadorizada. O autor comparou as politicas de otimização com cinco heurísticas utilizando um bando de dados de um

hospital urbano. O desempenho do método se mostrou competitivo quando comparado com as métricas operacionais e econômicas consideradas.

O trabalho de Bennett e Hauser (2013) combinaram o processo de decisão de Markov com redes de decisão dinâmica (inteligência artificial) que são alimentadas pelos dados clínicos e desenvolvem múltiplos planos complexos através de simulações e alternativas sequenciais. Os resultados demonstraram a viabilidade desta abordagem ao reduzir os custos por unidade de mudança de U$497,00 para R$U$189,00 e ainda aumentar de 30-35% nas condições dos pacientes uma vez que a redução da espera também contribuiria para os quadros clínicos dos mesmos pacientes.

Testi et al. (2008) realizaram um estudo no qual a variável tempo de espera para uma cirurgia é otimizada. Os autores compararam duas abordagens de priorização: uma análise clínica da urgência do tratamento, categorizando pacientes em grupos nos quais consta um tempo máximo de espera para a intervenção, e uma outra que utiliza um algoritmo que determina as prioridades dos pacientes. Os autores usaram um banco de dados de um hospital escola na Itália, com 236 pacientes durante os primeiros 6 meses do ano de 2014. O sistema de classificação de pacientes em grupos de urgência é apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma de classificação de pacientes de acordo com a *Italian National Guidelines*



Fonte: Testi et al., (2008)

Os resultados sugestionam que ambas abordagens devem ser implementadas simultaneamente para garantir o aumento de eficiência operativa do hospital. Dessa forma afirmam categoricamente que os pacientes não devem ser classificados apenas levando em consideração seu grau de prioridade, mas também um sistema capaz de montar um ranking de maneira explícita e transparente.

Min e Yih (2010b) estudaram um problema de agendamento onde pacientes com diferentes prioridades estão agendados para cirurgia eletiva em um centro médico que tem capacidade limitada. Quando existe disponibilidade de capacidade, pacientes com alta prioridade são eleitos a partir da lista de espera e destinados para a intervenção. No início de cada período de trabalho uma decisão do número de pacientes para serem agendados é feita baseado no balanceamento entre os custos relacionados às horas extras e o custo do adiamento.

Um modelo de programação estocástica dinâmica foi formulado para resolver essa situação. Uma análise estrutural é feita para definir uma política de otimização do método de agendamento. Fica constatado que a decisão baseada no grau de prioridade do paciente faz uma significativa diferença no resultado final.

3 METODOLOGIA

Este trabalho desenvolveu um algoritmo com base em um modelo matemáticos propostos por Belien & Demeulemeester (2005a) e por Min e Yih (2010b) para abordar os temas de melhor aproveitamento dos leitos pós-cirúrgicos e agendamento cirúrgico prioritário, tendo em vista a criticidade e quantidade de pacientes na fila de espera. Os dois algoritmos empregados nesse estudo serão explicados por meio dos quesitos proposto por Cardoen et al. (2010b), conforme segue:

a) Características dos pacientes: os modelos desse trabalho foram confeccionados vislumbrando pacientes sujeitos a cirurgias eletivas;
b) Medidas de desempenho: os algoritmos objetivam a utilização mais eficiente dos leitos;
c) Nível de decisão: tornar mais eficiente a capacidade da sala cirúrgica;
d) Tipo de análise: um dos algoritmos trata da otimização dos leitos enquanto o outro é uma tomada de decisão necessária para eleger qual a criticidade do paciente que sofrerá a intervenção;
e) Técnica de solução: foram utilizadas programação linear e um modelo construtivo heurístico baseada no método de decisão de Markov;
f) Incertezas: foram incorporadas como variáveis incertas o tempo de duração de cirurgia e a chegada de novos pacientes. De tal forma que essas variáveis foram tratadas como estocásticas. Já a incerteza do tempo de permanência pós-cirúrgico, que também foi contemplada no modelo, foi tratada como determinística;
g) Aplicação da pesquisa: o trabalho foi aplicado em um banco de dados proveniente de um hospital escola público de cardiologia localizado na cidade de São Paulo.

Yang et al. (2000) realizaram um estudo de revisão bibliográfica sobre trabalhos que utilizaram simulação de computador para agendamentos cirúrgicos. Os autores comprovaram a eficiência da ferramenta ao compararem resultados de simulações feitas em departamentos que tratam de casos de emergência, em departamentos que gerenciam o uso de medicamentos, em agendamentos cirúrgicos, em

departamentos que tratam e recebem pacientes em situação de pós-operatório e no departamento de treinamento.

3.1 SOFTWARE/LINGUAGEM UTILIZADA

Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo utilizando o software Matlab® o qual executa este modelo matemático, e o utiliza para criar um agendamento cirúrgico mestre através da simulação de um banco de dados de um hospital. O modelo matemático proposto por Belien e Demeulemeester (2005a) procura diminuir a variabilidade nos leitos utilizados pelos pacientes após a cirurgia.

3.2 DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

O banco de dados analisado possui o registro das principais atividades dentro do cenário cirúrgico de um hospital separado por tipos de pacientes. Por motivos de confidencialidade o nome desse hospital escola público de cardiologia não foi mencionado no trabalho.

3.2.1 Procedimentos utilizados para tratamento do banco de dados

Alguns dados relevantes para análise não tinham no sistema, como por exemplo, o dia no horizonte de planejamento no qual o paciente foi agendado para a cirurgia; um código indicando a prioridade do paciente.

O banco de dados fornecido pelo hospital tem um tamanho de 16505 amostras contendo todas as cirurgias realizadas no hospital no período de 1/jan/2012 até 31/dez/2014.

O tamanho das amostras separadas pelas cirurgias de interesse pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de casos de cirurgias coronárias, arritmia e valvar

Cirurgia	**Número de casos**	**%**
Coronárias	2080	12,6
Arritmia	4032	24,4
Valvar	2097	12,7
Total	8209	49,7

Fonte: Autor

Analisando o banco de dados, verificou-se que havia pacientes que passaram por mais de um procedimento cirúrgico na mesma cirurgia, e pacientes que não resistiram a cirurgia que implica em uma incerteza nos dados e por este motivo todos estes pacientes que apresentaram estas condições de anormalidade foram desconsiderados da análise e extraídos do banco para que os dados ficassem estatisticamente o mais consistente possível, e, após tratamento, os tamanho amostral do banco de dados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Número de casos de cirurgias coronárias, arritmia e valvar após tratamento

Cirurgia	Número de casos	%
Coronárias	1202	7,3
Arritmia	1847	11,1
Valvar	419	2,5
Total	3468	21,0

Fonte: Autor

Os resultados provenientes do tratamento estatístico da amostra do banco de dados do hospital são apresentados na Tabela 2.

Tabela 3 – Duração dos procedimentos média e desvio padrão

Cirurgia	Média da duração [min]	Desvio padrão [min]
Coronárias	296,47	±67,8
Arritmia	71,14	±25,7
Valvar	275	±57

Fonte: Autor

3.2.2 Tratamento das variáveis para parametrização do algoritmo de construção de agendamento mestre cirúrgico

A variável permanência nos leitos após a cirurgia é necessária para se parametrizar o algoritmo de construção do agendamento mestre cíclico.

Para se conseguir o tempo de permanência dos pacientes separados pelos tipos de cirurgias, o banco de dados disponibilizava as datas de saída dos pacientes, retirando novamente todos os pacientes que tiveram algum problema durante a cirurgia, ou óbito, o período entre a data de cirurgia do paciente e a data de saída, foi retirado do banco de

dados e inseridos no software Statistica®, para a visualização do histograma de frequências da variável tempo de permanência.

Analisando as maiores frequências do período do tempo de permanência, e retirado estes dados, foi tirada a probabilidade do paciente ficar aquele determinado período (LOS) internado após a cirurgia (p), este parâmetro foi inserido no algoritmo para construção do agendamento cirúrgico mestre.

3.2.3 Parametrização do algoritmo de construção de agendamento cirúrgico mestre

Na parametrização, as informações tratadas provenientes do banco de dados foram inseridas dentro do algoritmo de construção de agendamento cirúrgico mestre e armazenadas conforme as seguintes variáveis:

p (variável do tipo real): Matriz m x n, sendo m o tipo cirúrgico e n a probabilidade do tempo de permanência do paciente pós-cirurgia;

LOS (variável do tipo inteiro) – Matriz m x n, sendo m o tipo cirúrgico, e n os dias permanecidos no hospital após a cirurgia;

3.2.4 Tratamento das variáveis para parametrização do algoritmo de agendamento prioritário dos pacientes

O banco de dados fornecido possui em seu registro os campos data de inicio da cirurgia, data fim de cirurgia e tipo de cirurgia, as quais passam o horário de inicio e final da cirurgia e o tipo de procedimento cirúrgico realizado respectivamente.

Foi inserido um novo campo, chamado duração da cirurgia que faz a subtração da data fim de cirurgia e inicio da cirurgia e colocado um filtro no campo tipo da cirurgia para separar todos os dados das cirurgias do tipo coronárias, arritmias e valvar.

O motivo da escolha de apenas três cirurgias deste banco de dados de diversas cirurgias se deu pelo interesse de ter um tipo de cirurgia na qual a duração dos tempos cirúrgicos não mudasse conforme o tipo de estado crítico do paciente, conforme orientado pelos médicos do hospital estes três tipos de cirurgias atendem a esta condição.

Após filtragem dos dados por tipo de cirurgia e retirada dos dados inconsistentes, todos os dados separados pelas cirurgias de interesse foram inseridos no software Statsoft®, e verificados quanto à distribuição de probabilidade que melhor se encaixava nestes dados.

Posteriormente a definição da distribuição de probabilidade, os dados da amostra em análise foram tratados estatisticamente para se conseguir a média (μ) e desvio padrão (σ) de cada cirurgia de interesse.

3.2.5 Parametrização do algoritmo de agendamento prioritário dos pacientes

Após a definição da distribuição da probabilidade e dos parâmetros média e desvio padrão do tempo de duração de cada tipo de cirurgia, esses parâmetros foram inseridos na função de custo extra do algoritmo de agendamento prioritário dos pacientes, utilizando-se do método de Monte Carlo para gerar números pseudo aleatórios dentro de uma distribuição do tipo Gaussiana com média (μ) e desvio padrão (σ). E resultou no calculo da média esperada de tempo extra utilizado (E_{HE}) para realização da quantidade total das cirurgias propostas, e assim definir qual o custo extra unitário envolvido, utilizando da seguinte regra para a definição:

$(E_{HE}) < 60;\ C_0 = 1$
$60 \leq (E_{HE}) \leq 150;\ C_0 = 2$
$(E_{HE}) > 60;\ C_0 = 4$
Sendo:

C_0: Custo unitário por horas extras;

3.3 NIVELAMENTO DO LEITOS

O objetivo de se diminuir a variabilidade da utilização diária dos leitos após as cirurgias como melhoria de desempenho na construção do agendamento cíclico mestre é atestada por Livtak e Long (2000) que explica que a variabilidade tem um impacto negativo na produtividade, e reduzir estas variabilidades é uma das maiores preocupações do gerenciamento do sistema de saúde. Um problema comum enfrentado por hospitais é a extrema variação na ocupação diária de leitos. Alguns dias a ocupação é muito grande e consequentemente a qualidade do tratamento diminui porque é muito

caro manter equipes suficientes para os picos e nos dias que a ocupação é muito baixa, há desperdício de equipes e recursos, já que nenhum sistema pode ter flexibilidade suficiente para lidar com as flutuações diárias.

Para detalhar o algoritmo a definição de alguns conceitos se fazem necessários para o entendimento da ferramenta.

Entende-se por agendamentos cíclicos períodos os quais são repetidos após certo período de tempo (referido como tempo cíclico). Durante este ciclo haverá um número de períodos os quais as cirurgias não podem ser locadas. Estes períodos são referidos como períodos inativos, e os outros como ativos.

Geralmente períodos cíclicos são múltiplos semanais nos quais os finais de semana são os períodos inativos.

Outro conceito utilizado é o de bloco cirúrgico, um bloco é definido como a menor unidade de tempo para o qual uma sala de operação específica pode ser alocada para um cirurgião específico (ou grupo cirúrgico). Percebe-se que por conta de grandes tempos de preparação e custos, na vida real a aplicação de números de blocos por dia em uma sala cirúrgica é geralmente 1 ou 2.

3.3.1 Definição das variáveis

Segue as variáveis do modelo matemático desenvolvido para a construção do agendamento cirúrgico mestre.

x_{is} :Número de blocos relacionados aos cirurgiões s no dia i;

A: Conjunto de períodos ativos e

S: Conjunto de cirurgiões;

r_s: Número de blocos requeridos para cada cirurgião do tipo s;

b_i: Número máximo de blocos disponíveis no dia i;

μ_i: Valores médios do número total de leitos ocupados no dia i;

p_{sd}: Probabilidade do paciente ficar d dias no hospital após cirurgia pelo cirurgião s;

n_s: O número de pacientes que o cirurgião s pode operar em uma unidade de bloco;

Dist (i,j): É a distância entre dia i e dia j na semana;

m_s: Número máximo de dias que um paciente pode ficar no hospital após a cirurgia pelo cirurgião s.

3.3.2 Etapas do algoritmo

O modelo matemático de Beliën, Demeulemeester (2005a) será resolvido através de método de programação linear que é uma das técnicas da Pesquisa Operacional mais utilizadas em se tratando de problemas de otimização. Os problemas de Programação Linear (PL) buscam a distribuição eficiente de recursos limitados para atender um determinado objetivo, em geral, maximizar lucros ou minimizar custos. Esse objetivo é expresso através de uma função linear, denominada "Função Objetivo".

É necessário também definir quais as atividades que consomem recursos e em quais proporções os mesmos são consumidos. Essas informações são apresentadas em forma de equações, as inequações lineares, uma para cada recurso. Ao conjunto dessas equações e/ou inequações, denomina-se "Restrições do Modelo".

O que se busca, num problema de PL é a função objetivo, isto é, a maximização ou a minimização de algum recurso. A essa solução dá-se o nome de solução ótima, no caso do modelo matemático proposto a função objetivo procura minimizar o recurso leitos do hospital, definindo um agendamento cirúrgico mestre que terá a média mínima de utilização deste recurso.

$$\text{Função objetivo} = \min(\mu)$$

Restrições do modelo

$$\sum_{i \in A} x_{is} = r_s \quad \forall s \in S \tag{1}$$

$$\sum_{s \in S} x_{is} \leq b_i \quad \forall i \in A, \tag{2}$$

$$\mu_i = \sum_{s \in S} \sum_{j \in A} \left(\sum_{d=\text{dist}(i,j)}^{m_s} p_{sd} n_s \left\lceil \frac{d}{l} \right\rceil \right) x_{js} \quad \forall i = 1, \dots, l \tag{3}$$

$$\mu i \leq \mu \quad \forall i = 1, \dots, l \tag{4}$$

$$x_{is} \in \Re_0^+, \dots, \min(rs, bi)\} \quad \forall s \in S \text{ e } \forall i \in A, \tag{5}$$

$$\mu_i \in \Re_0^+ \ \forall i = 1, \dots, l \tag{6}$$

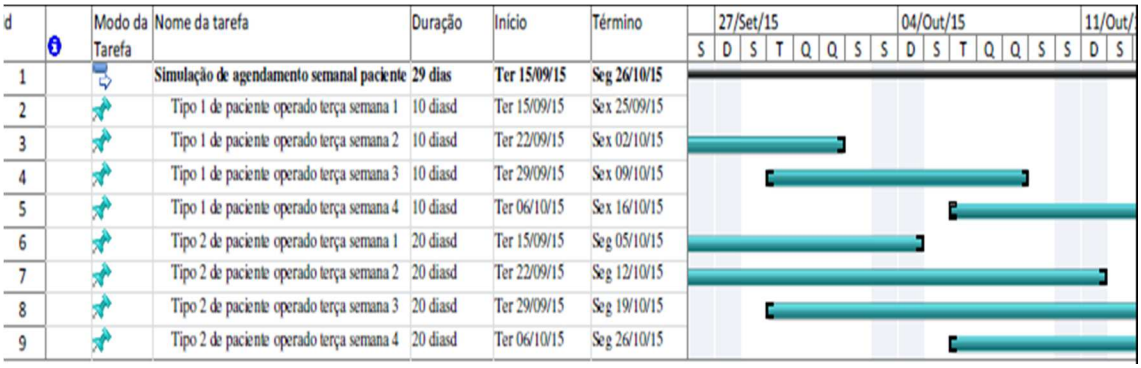
$$\mu \in \Re_0^+ \tag{7}$$

O modelo matemático considera o número médio de pacientes de determinado cirurgião s ficar exatamente d dias no hospital igual a $p_{sd}*n_s$ (média de distribuição binomial com probabilidade de sucesso p_{sd} e n_s tentativas).

Dist (i,j) é a distância entre dia i e dia j na semana, definido como i-j+l se o dia j preceder o dia i e l+i-j+1 de outro jeito.

Quando o tempo de permanência do paciente no hospital excede o número esperado de pacientes o mesmo tem de ser adicionado duas vezes (ou mais), o qual explica o fator $\left\lceil \frac{d}{l} \right\rceil \cdot\cdot$. Considerando pacientes do tipo 1 com duração de tempo de permanência após cirurgia de 10 dias corridos e pacientes do tipo 2 com duração de permanência após cirurgia de 20 dias corridos dentro de um ciclo de uma semana, verifica-se analisando a semana iniciando no dia 04 de outubro que existem 5 leitos utilizados exatamente por um paciente ter um fator 2 ($\lceil 10/7 \rceil$) e o outro paciente ter um fator 3 ($\lceil 20/7 \rceil$). Esse exemplo consta na Figura 15.

Figura 15 – Exemplo de cronograma cíclico cirúrgico



d		Modo da Tarefa	Nome da tarefa	Duração	Início	Término
1			**Simulação de agendamento semanal paciente**	**29 dias**	**Ter 15/09/15**	**Seg 26/10/15**
2			Tipo 1 de paciente operado terça semana 1	10 diasd	Ter 15/09/15	Sex 25/09/15
3			Tipo 1 de paciente operado terça semana 2	10 diasd	Ter 22/09/15	Sex 02/10/15
4			Tipo 1 de paciente operado terça semana 3	10 diasd	Ter 29/09/15	Sex 09/10/15
5			Tipo 1 de paciente operado terça semana 4	10 diasd	Ter 06/10/15	Sex 16/10/15
6			Tipo 2 de paciente operado terça semana 1	20 diasd	Ter 15/09/15	Seg 05/10/15
7			Tipo 2 de paciente operado terça semana 2	20 diasd	Ter 22/09/15	Seg 12/10/15
8			Tipo 2 de paciente operado terça semana 3	20 diasd	Ter 29/09/15	Seg 19/10/15
9			Tipo 2 de paciente operado terça semana 4	20 diasd	Ter 06/10/15	Seg 26/10/15

Fonte: Autor

A porção da equação $\left(\sum_{d=dist(i,j)}^{m_s} p_{sd} n_s \left\lceil \frac{d}{l} \right\rceil\right) x_{js}$ significa, portanto a somatória da distância do dia da cirurgia j ao dia i até o intervalo m_s da média binomial do paciente pós cirúrgico permanecer no hospital no dia d, toda esta somatória multiplicada pelo número de blocos de pacientes operados no dia j pelo cirurgião s.

$\sum_{j \in A} \left(\sum_{d=dist(i,j)}^{m_s} p_{sd} n_s \left\lceil \frac{d}{l} \right\rceil\right) x_{js}$ significa a somatória de todos os dias j dentro do período ativo A da equação explicada acima.

$\sum_{s \in S} \sum_{j \in A} \left(\sum_{d=dist(i,j)}^{m_s} p_{sd} n_s \left\lceil \frac{d}{l} \right\rceil\right) x_{js}$ significa a somatória de todos os cirurgiões dentro do conjunto de cirurgiões disponíveis no agendamento cirúrgico mestre.

Portanto a média diária i encontrada no agendamento deverá ser o conjunto somatório de todos os cirurgiões, dias de operação vezes a probabilidade do paciente estar dentro daquele dia i, multiplicado pelo número de blocos cirúrgicos.

As restrições do modelo matemáticos incluídos na programação linear são:

(1) os blocos cirúrgicos atendam a demanda definida no planejamento das equipes cirúrgicas (r_s);

(2) os blocos cirúrgicos não excedam a capacidade de salas cirúrgicas do hospital (b_i);

(3) a média da função objetivo deve ser maior ou igual a média diária i, isto garante a verificação da função objetivo dos picos de variação de ocupação de leitos;

(4) garante que a media de leitos utilizados é igual a maior média diária resultante da simulação;

(5), (6), (7), (8) as variáveis pertencem aos reais positivos.

3.4 SELEÇÃO DE PACIENTES ELETIVOS SEPARADOS POR PRIORIDADES

O próximo algoritmo utilizado no trabalho tem como foco a construção de um agendamento efetivo de cirurgia eletiva de pacientes em uma lista de espera.

O algoritmo detalhado por Min e Yih (2010b) foi estudado e desenvolvido nesta tese de mestrado com o auxílio do software Matlab®.

A escolha deste algoritmo foi motivada através da verificação do sistema de agendamento das cirurgias eletivas do hospital estudado o qual é realizado manualmente.

A proposta do algoritmo é automatizar o agendamento através da escolha de quais tipos de pacientes divididos por níveis de prioridade deverão ser agendados de acordo com a lista de espera atual, portanto a proposta deste estudo é prover uma política de agendamento ótimo considerando a prioridade do paciente.

Para execução do algoritmo, foi necessário tratar o banco de dados fornecido para se ter o tipo de distribuição e dados estatísticos (média, desvio padrão) dos tempos cirúrgicos separados por cirurgia.

O modelo desenvolvido por Min e Yih (2010b) utiliza horizonte infinito de Markov como método para selecionar diferentes prioridades de pacientes para a cirurgia.

3.4.1 Método de Markov

Atualmente, as cadeias de Markov têm sido estudadas e utilizadas em diversas áreas do conhecimento como, por exemplo, ciências biológicas, sociais e administrativas.

Probabilidades ligadas a jogos, evolução de populações e resultados sobre teoria de filas são alguns exemplos dessa aplicação.

Processos de decisão de Markov, também referido como programação dinâmica estocástica ou problemas de controle estocástico, são modelos para decisões sequenciais quando resultados são incertos. O modelo do processo de decisão de Markov consiste de pontos de decisão que geram recompensas e determinam o estado para o próximo ponto de decisão através da função de probabilidade de transição.

O matemático Andrey Markov em 1906 conseguiu os primeiros resultados para estes processos.

Em um especifico ponto no tempo, o gestor escolhe uma ação. A escolha da ação produz dois resultados: o gestor recebe uma recompensa imediata (ou custo imediato) e o sistema modifica para uma nova condição de estado em um próximo ponto de decisão de acordo com a distribuição de probabilidade determinada na escolha da ação.

3.4.2 Variáveis do algoritmo

n: período de decisão;

s: conjunto de estados;

v: função valor recompensa;

w: lista de espera;

s_{max}: tamanho máximo da lista de espera;

a: vetor ação;

d_i demanda de chegada de novos pacientes de nível crítico i no período n+1;

B: Capacidade da sala cirúrgica.

3.4.3 Detalhamento do algoritmo

O algoritmo desenvolvido para selecionamento dos pacientes eletivos por criticidade, tem suas divisões detalhadas a seguir

3.4.3.1 Definição dos conjuntos estados e ações da lista de espera

Dada uma lista de espera (w), igual a um valor x, o algoritmo simula todos os possíveis estados (s), para os pacientes divididos em 3 níveis de criticidade. Um exemplo, para uma lista de estado w=3, é mostrado na Tabela 4.

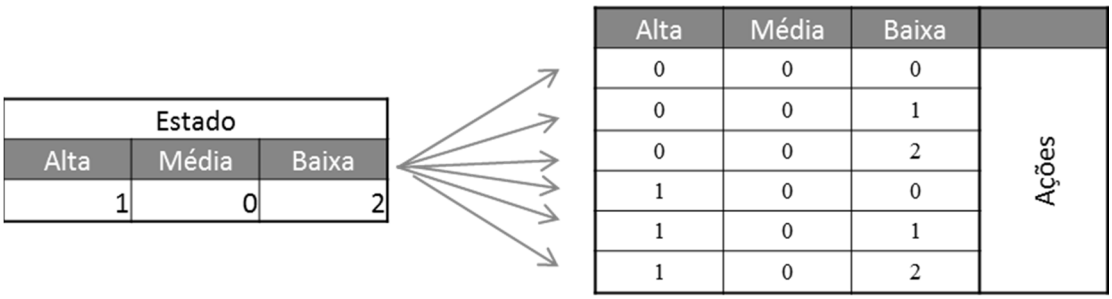
Tabela 4 – Todos estados possíveis para uma lista com w=3

Estados de criticidade		
Alta	Média	Baixa
0	0	3
0	1	2
0	2	1
0	3	0
1	0	2
1	1	1
1	2	0
2	0	1
2	1	0
3	0	0

Fonte: Autor

Após definido todos os estados possíveis da lista de espera, o algoritmo simula todas as ações possíveis para cada um destes estados, então, por exemplo, para um vetor estado [1,0,2], que seria um paciente de alta criticidade, nenhum paciente de média criticidade, dois pacientes de baixa criticidade esperando para cirurgia, o algoritmo define todas as ações possíveis dentro do conjunto $A \in S$. Esse exemplo é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Ações possíveis para estado 1,0,2



Adaptado de: Min e Yih (2010b)

O próximo passo do algoritmo será definir os limites superiores e inferiores conforme equação (8).

$$\{a\,(s - ei), a\,(s(w - 1))\} \;<= a <= |s(w)|. \qquad (8)$$

A qual nos indica que as ações tomadas no estado anterior não podem ser maiores que as ações do próximo estado, assim como o módulo da ação do estado atual não podem ser maiores que a lista de espera atual (w).

3.4.3.2 Equação de Markov

Outro limite superior definido foi quanto à capacidade da sala cirúrgica do hospital.

Definidos o conjunto de estados para a fila de espera w, e o conjunto de ações para estes estados, com os limites de ações impostos, calcula-se a recompensa de cada ação, conforme equação (3), do horizonte infinito de Markov.

$$v_n(\vec{s}) = min_{\vec{a}\epsilon A_s}\left\{c(\vec{s},\vec{a}) + \lambda \sum_{\vec{d}\epsilon D} p(\vec{d}) v_{n-1}(\vec{s} - \vec{a} + \vec{d})\right\} \quad (9)$$

Onde :

$$c(\vec{s} - \vec{a}) = \sum_{i=1}^{I} c_i(s_i - a_i) + c_o \int_B^{\infty} (x - B)\, dF_a(x) \quad (10)$$

A equação (9) demonstra que a função custo do período simples $c(\vec{s} - \vec{a})$ é definida pelo conflito (*trade-off*) entre o custo de adiamento cirúrgico e o custo de horas extras.

3.4.3.3 Custo do adiamento cirúrgico

O custo do adiamento cirúrgico é a somatória dos custos unitários definido por prioridades de pacientes, multiplicado pela diferença do estado de prioridade i menos a ação tomada de agendamento de prioridade i.

$$\sum_{i=1}^{I} c_i\,(s_i - a_i), \quad (11)$$

Onde c_i é o custo unitário de adiamento de paciente por prioridade i

Como as prioridades são ordenadas da mais urgente para a menos urgente, sabe-se que c_i é decrescente em i.

3.4.3.4 Custo de horas extras

Quando a duração esperada total das cirurgias excederem a capacidade (B) do centro cirúrgico, custos extras irão ocorrer. O custo total extra esperado pode ser definido como:

$$c_o \int_B^{\infty} (x - B)\, dF_a\,(x) \tag{12}$$

Onde:

c_0: custo unitário de extras,

F_a (x): função de distribuição acumulativa (f.d.a) da duração total da cirurgia, e

x: número de pacientes agendados.

Portanto para um tipo de cirurgia com tempos de duração normalmente distribuídos com média μ e variância σ^2, o tempo extra esperado (E_{HE}) é igual a:

$$E_{HE} = \mu(x)\phi\left(\frac{\mu(x)}{\sigma(x)}\right) + \frac{\mu(x)}{\sigma(x)} exp - \left(\frac{\mu^2(x)}{2\sigma^2(x)}\right) \tag{13}$$

$$\mu(x) = \mu x - \mu_{OR} \tag{14}$$

$$\sigma^2(x) = \sigma^2 x \tag{15}$$

Onde:

$\mu(x)$: média do tempo total extra

μ_{OR}: capacidade da sala cirúrgica

$\sigma^2(x)$: variância total tempo extra

ϕ: distribuição normal padrão acumulada

O algoritmo calcula o conflito entre os custos de adiamento e os custos extras, e armazena no vetor $c(\vec{s} - \vec{a})$, simulando o custo de todas as ações possíveis para cada estado do conjunto S, conforme situação da lista de espera.

3.4.3.5 Estado de transição

Já tendo o vetor custo definido, o algoritmo definirá o estado de transição que é a segunda parte da equação (9).

O estado de transição é apresentado como $\vec{s}' = \vec{s} - \vec{a} + \vec{d}$, onde:

$\vec{d}$: número de novos pedidos de cirurgia que chegam ao final do período

s': estado no período n+1

No algoritmo o parâmetro probabilidade de chegada de novos pedidos para cirurgia, foi inserido no algoritmo conforme indicado por Sobolev e Kuramoto (2008), que após analisar dados da média de novos pedidos de cirurgias coronárias dos últimos 10 anos de um hospital, modelou as como distribuição de Poisson com parâmetros 1,5,3 para alta, média e baixa prioridade, respectivamente.

A transição probabilidade pode ser obtida por:

$$P(\vec{s}'|\vec{s}, \vec{a}) = p\left(\vec{d} = \vec{s}' - \vec{s} + \vec{a}\right) = \prod_{i=1}^{I} p\,(d_i = s_i' - s_i + a_i) \qquad (16)$$

d_i: número de pacientes prioridades i chega por período unitário

$p(d_i)$: a probabilidade d_i

A demanda de categoria de prioridades diferentes é suposta independente das outras demandas e sua distribuição é idêntica para todos os períodos de decisão.

Portanto o resultado do vetor ação ótimo obtido pelo algoritmo é definido pelo cálculo da melhor recompensa da equação (9) e considerado como a ação mínima dentro de todas as ações possíveis que tem como resultado esta recompensa ótima.

3.5 FLUXO DE PROCESSOS

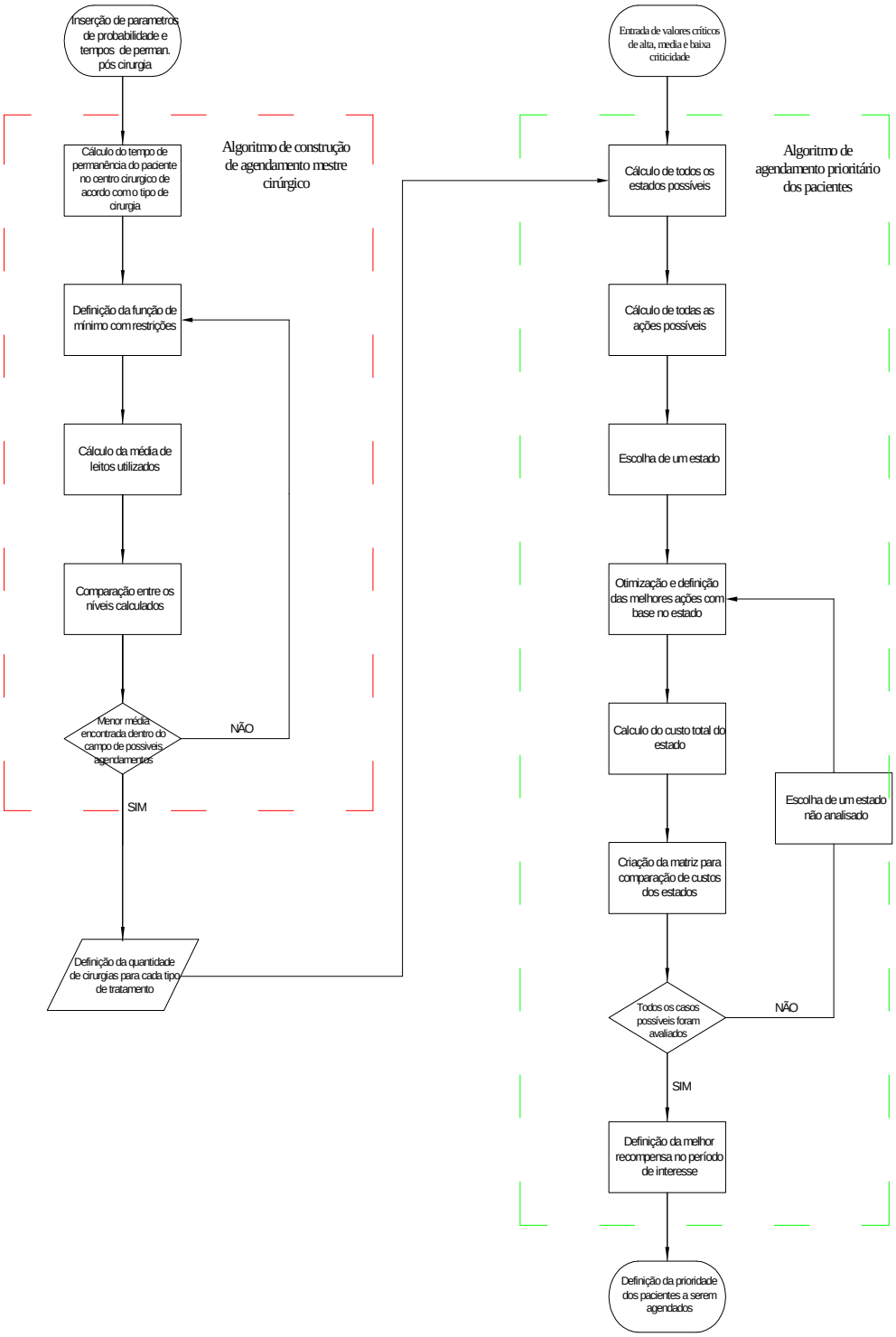
O hospital estudado neste projeto utiliza o fluxograma para agendamento de procedimentos cirúrgicos conforme Figura 17

Figura 17 - Fluxograma de agendamento de consultas

Fonte: Autor

As etapas e ações da aplicação do algoritmo são mostradas na Figura 18.

Figura 18 – Fluxograma do processo de aplicação do algoritmo



Fonte: Adaptação dos dois trabalhos (Min e Beliën)

4 RESULTADOS

Através do banco de dados de um hospital foram analisados os tempos médios das durações das cirurgias do tipo coronárias, arritmias e valvar conforme ilustrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempos médios para cada tipo cirúrgico

Tipo	Tempo [min]
Coronárias	296
Arritmia	96
Valvar	43

Fonte: Autor

Os cálculos da quantidade de cirurgia por bloco foram feitos através da Equação (17).

$$Q_b = \mathrm{mod}\left(\frac{A}{B}\right) \tag{17}$$

No qual:

Q_b: Quantidade de cirurgia por bloco cirúrgico

A: tempo regular da sala cirúrgica (min)

B: tempo médio da cirurgia (min)

Considerando um período de utilização regular da sala cirúrgica de 8 horas (480 min). Um exemplo do cálculo da quantidade de blocos é feito utilizando-se os dados da cirurgia do tipo de coronária é apresentado a seguir:

$$Q_{\text{coronária}} = \mathrm{round}\left(\frac{480}{296}\right) = 2$$

Utilizando-se os dados da Tabela 5 aplicados na equação 1, obtém-se as dimensões do bloco cirúrgico para todos os tipos cirúrgicos. Esses tempos estão compilados na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantidade de cirurgias por blocos para cada tipo cirúrgico

Tipo	Quantidade de cirurgia por bloco
Coronárias	2
Arritmia	5
Valvar	3

Fonte: Autor

A meta de cirurgias na semana do tipo coronárias, arritmias e valvar foram fornecidas pelo hospital analisado e aplicando a equação 2, conseguiu-se a meta semanal de blocos cirúrgicos de cada tipo.

$$M_S = \frac{M}{Q_b} \tag{18}$$

No qual:

M_s: Meta de blocos cirúrgicos semanal;

M: Meta de cirurgia semanal;

Q_b: Quantidade de cirurgia por bloco cirúrgico

As metas cirúrgicas por bloco estão compiladas na Tabela 7.

Tabela 7 – Metas cirúrgicas de um hospital modelo

	Meta semanal	Quantidade de cirurgia por bloco	Quantidade de blocos
Coronárias	14	2	7
Arritmia	40	5	8
Valvar	15	3	5

Fonte: Autor

Com a definição da meta semanal de blocos cirúrgicos a serem executadas o próximo passo é construir um agendamento de maneira que haja o mínimo de variação na quantidade de leitos utilizados pelos pacientes após a cirurgia, para isso executa-se o algoritmo proposto por Belien e Demeulemeester (2005b), que tem como entrada de dados as metas cirúrgicas por blocos dentro de um período determinado de uma semana, e a probabilidade de dias que o paciente utilizará o leito do hospital após sua cirurgia.

Estes dados de probabilidade de tempo de permanência pós-cirúrgico do paciente foram extraídos do banco de dados de um hospital, conforme equação (19).

$$P_{xy} = \frac{Q_{xy}}{N_y} * 10 \tag{19}$$

No qual:

P_{xy}: Probabilidade de o paciente ficar x dias após cirurgia do tipo y;

Q_{xy}: Quantidade de pacientes que ficaram x dias após cirurgia do tipo y;

N_y: Quantidade de pacientes operados de cirurgia do tipo y

Portanto aplicando a equação 3 para as cirurgias do tipo coronária em que se observou 233 pacientes que ficaram 6 dias internados em um total de 1202 observações, a probabilidade do paciente ficar 6 dias internados é:

$$P_{6cor} = \frac{233}{1202} * 100 = 19\%$$

As probabilidades e quantidades de dias de permanência dos pacientes analisados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Probabilidade de tempo de permanência dos pacientes conforme tipo cirúrgico

Tempo de permanência do paciente	**Coronária**		**Arritmia**		**Valvar**	
	Quantidade	Probabilidade	Quantidade	Probabilidade	Quantidade	Probabilidade
1	0	0%	1264	68%	0	0%
2	0	0%	333	18%	0	0%
3	0	0%	120	6%	0	0%
4	0	0%	71	4%	0	0%
5	0	0%	59	3%	0	0%
6	233	19%	0	0%	47	11%
7	384	32%	0	0%	79	19%
8	273	23%	0	0%	105	25%
9	160	13%	0	0%	98	23%
10	152	13%	0	0%	90	21%
Totais	1202	100%	1847	100%	419	100%

Fonte: Autor

Depois de inseridos todos os dados (quantidade de blocos cirúrgicos, metas, período de permanência pós-cirúrgico) de entrada no algoritmo do apêndice A – Algoritmo agendamento cirúrgico mestre, e executá-lo, obteve-se o resultado para a proposta de agendamento dos blocos cirúrgicos. Esse resultado é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Agendamento proposto pelo algoritmo de nivelamento de leitos – resultados por bloco cirúrgico

Blocos cirúrgicos	Coronária	Arritmia	Valvar	Salas cirúrgicas utilizadas
Segunda-feira	3,50	1,50	0,00	5,00
Terça-feira	3,50	1,43	0,08	5,00
Quarta-feira	0,00	1,72	3,28	5,00
Quinta-feira	0,00	1,72	1,64	3,36
Sexta-feira	0,00	1,64	0,00	1,64
Meta cirúrgica	7,00	8,00	5,00	

Fonte: Autor

E aplicando a Equação 2 tem-se a proposta de agendamento semanal por cirurgia. O agendamento mestre semanal por cirurgia está indicado na Tabela 10.

Tabela 10 – Agendamento mestre cirúrgico semanal considerando resultado por cirurgia

Cirurgias	Coronária	Arritmia	Valvar
Segunda-feira	7	8	0
Terça-feira	7	7	0
Quarta-feira	0	9	10
Quinta-feira	0	8	5
Sexta-feira	0	8	0
Meta cirúrgica	14	40	15

Fonte: Autor

A necessidade de leitos por dia da semana calculada pelo algoritmo, de acordo com o agendamento definido é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados por leitos – agendamento ótimo

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
32	32	32	32	32	27	27

Fonte: Autor

Como o algoritmo faz uma simulação de diversas situações para se chegar ao ponto de função objetivo mínima, um agendamento possível e com pior resultado para a necessidade de leitos, foi compilado na

Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados por leitos agendamento aleatório

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
29	28	27	45	30	28	28

Fonte: Autor

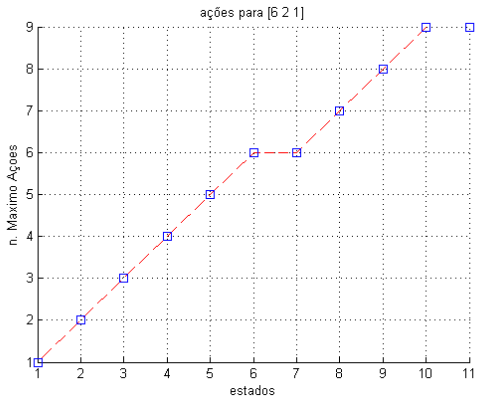
Verificou-se aplicando o algoritmo que a necessidade de leitos apenas com a modificação do agendamento semanal destas três cirurgias, passou de uma necessidade de 45 leitos, no caso de um agendamento mestre cíclico ruim para 32 leitos, obtendo assim uma redução de 29% do número de leitos cirúrgicos, atendendo as metas e as restrições de capacidade cirúrgica.

Agora que o agendamento mestre cirúrgico que determina o dia e a quantidade de cirurgia está definido, o próximo passo é agendar o paciente (quantos pacientes de cada tipo de criticidade deverá ser agendado), esta definição do paciente eletivo será realizada através da simulação do algoritmo de Markov que toma diferentes ações de acordo com a lista de espera no período do agendamento eletivo (MIN; YIH, 2010a).

Utilizando-se da análise, foi possível determinar as principais medidas de posição e variação da distribuição. Nota-se que a média foi de 296,47 min e o desvio padrão de 42,6 min, estes dados serão utilizados posteriormente na entrada do algoritmo para simulação das ações a serem tomadas.

O primeiro passo para se utilizar o algoritmo de Markov é definir os pesos dos custos unitários para a simulação, segue os resultados obedecendo a proporção entre os diferentes níveis de criticidade definidos por Min & Yih (2010a). Essa definição consta na Figura 19.

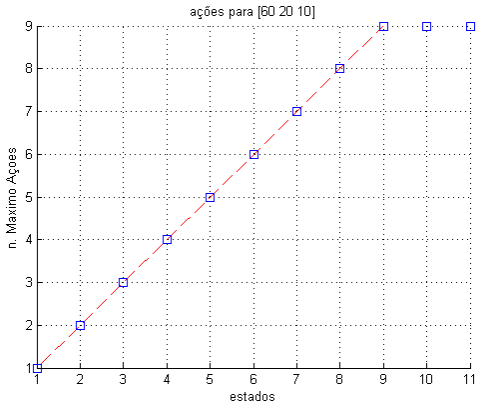
Figura 19 – Ações tomadas cirurgia coronária com pesos [6 2 1]



Fonte: Autor

Este peso definido para o nível de criticidade de cada paciente de cirurgia coronária não é ideal, pois se o gráfico for analisado dependendo da lista de espera, talvez não haja o número de pacientes agendados. Em um estado com por exemplo de 7 pacientes na fila de espera, o algoritmo poderá eleger apenas 6 pacientes para cirurgia, não atingindo assim a meta de 7 pacientes a serem operados propostos na segunda e terça feira do agendamento mestre definido anteriormente. Esse exemplo consta na Figura 20.

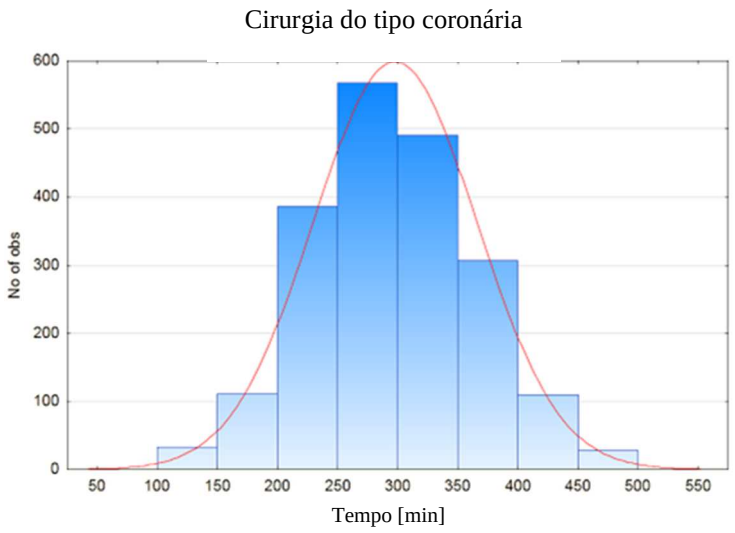
Figura 20 – Ações tomadas cirurgia coronária com pesos [60 20 10]



Fonte: Autor

Conforme simulação do vetor peso dos custos unitários dos pacientes de cirurgia do tipo coronária de [60 20 10] para alta, média e baixa criticidade respectivamente, chegou se a um resultado melhor, pois atende a meta estabelecida no agendamento mestre. Deve-se apenas inserir os dados de tempos de duração da cirurgia para executar o algoritmo, para isso tratou-se estatisticamente o banco de dados que foi alvo de interesse desse trabalho no software Statística®, concluindo que o tempo de cirurgia do tipo coronária segue uma distribuição normal conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Distribuição tempos cirúrgicos cirurgia coronária



Fonte: Autor

Tabela 13 – Ações tomadas no agendamento de coronária em um estado de 14 pacientes

Estado			**Ação**		
Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
0	0	14	0	0	7
0	1	13	0	1	6
0	2	12	0	0	7
0	3	11	0	2	5
0	4	10	0	4	3
0	5	9	0	3	4
0	6	8	0	2	5
0	7	7	0	6	1
0	8	6	0	6	1
0	9	5	0	6	1
0	10	4	0	5	2
0	11	3	0	7	0
0	12	2	0	5	2
0	13	1	0	6	1
0	14	0	0	7	0
1	0	13	0	0	7
1	1	12	1	0	6
1	2	11	0	0	7
1	3	10	1	3	3
1	4	9	1	3	3
1	5	8	1	2	4
1	6	7	0	6	1
1	7	6	1	6	0
1	8	5	1	5	1
1	9	4	0	4	3
1	10	3	1	3	3
1	11	2	0	7	0
1	12	1	1	6	0
1	13	0	0	7	0
2	0	12	2	0	5
2	1	11	2	1	4
2	2	10	2	2	3
2	3	9	1	2	4
2	4	8	1	2	4
2	5	7	2	3	2
2	6	6	2	4	1
2	7	5	1	5	1

Tabela 13 - Ações tomadas no agendamento de coronária em um estado de 14 pacientes (continuação)

Estado			Ação		
Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
2	8	4	1	5	1
2	9	3	0	6	1
2	10	2	1	4	2
2	11	1	1	6	0
2	12	0	0	7	0
3	0	11	3	0	4
3	1	10	2	0	5
3	2	9	3	0	4
3	3	8	3	0	4
3	4	7	3	0	4
3	5	6	3	4	0
3	6	5	3	4	0
3	7	4	2	5	0
3	8	3	0	4	3
3	9	2	3	3	1
3	10	1	2	5	0
3	11	0	0	7	0
4	0	10	2	0	5
4	1	9	2	0	5
4	2	8	3	2	2
4	3	7	3	1	3
4	4	6	4	1	2
4	5	5	4	0	3
4	6	4	4	1	2
4	7	3	4	2	1
4	8	2	4	2	1
4	9	1	3	3	1
4	10	0	3	4	0
5	0	9	5	0	2
5	1	8	4	1	2
5	2	7	3	0	4
5	3	6	5	0	2
5	4	5	5	2	0
5	5	4	5	0	2
5	6	3	5	1	1
5	7	2	5	1	1
5	8	1	3	4	0
5	9	0	5	2	0
6	0	8	3	0	4
6	1	7	4	1	2
6	2	6	6	1	0
6	3	5	4	2	1
6	4	4	6	1	0
6	5	3	5	0	2
6	6	2	5	0	2
6	7	1	4	3	0
6	8	0	6	1	0
7	0	7	7	0	0
7	1	6	7	0	0
7	2	5	5	0	2
7	3	4	7	0	0
7	4	3	6	1	0
7	5	2	6	0	1
7	6	1	7	0	0
7	7	0	6	1	0
8	0	6	7	0	0
8	1	5	6	0	1
8	2	4	7	0	0
8	3	3	6	1	0
8	4	2	7	0	0
8	5	1	2	4	1

Tabela 13 – Ações tomadas no agendamento de coronária em um estado de 14 pacientes (conclusão)

Estado			**Ação**		
Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
8	6	0	4	3	0
9	0	5	7	0	0
9	1	4	4	1	2
9	2	3	5	0	2
9	3	2	5	0	2
9	4	1	6	1	0
9	5	0	3	4	0
10	0	4	7	0	0
10	1	3	6	1	0
10	2	2	5	2	0
10	3	1	4	3	0
10	4	0	4	3	0
11	0	3	7	0	0
11	1	2	5	0	2
11	2	1	4	2	1
11	3	0	7	0	0
12	0	2	7	0	0
12	1	1	6	1	0
12	2	0	7	0	0
13	0	1	6	0	1
13	1	0	6	1	0
14	0	0	7	0	0

Fonte: Autor

O algoritmo foi usado para simular todos estados possíveis iguais a 14 pacientes na lista de espera do tipo alta, média e baixa criticidade, e demonstrou as ações que tomariam de acordo com a quantidade de categoria de pacientes na lista de espera.

5 CONCLUSÕES

O objetivo de desenvolver um processo de agendamento cirúrgico, diminuindo o número de leitos necessários para a fase pós-cirúrgica foi atendido com a aplicação do algoritmo de programação linear adotado nesse trabalho.

Conforme foi demonstrado nos resultados, ocorreu uma diminuição de 29% nas quantidades de leitos necessários para atender a demanda cirúrgica do hospital. Além dessa drástica atenuação, o algoritmo proporcionou o nivelamento da ocupação diária e semanal de leitos. Tal redução gerou como uma consequência imediata uma diminuição da necessidade das equipes médicas requeridas para atender aos pacientes internados após as intervenções cirúrgicas. Com o amainamento das oscilações de leitos essenciais para a execução das atividades, reduziu-se a ociosidade e a sobrecarga da equipe médica.

Adicionalmente foi proposto um segundo algoritmo que incorporou a criticidade do paciente como um parâmetro de entrada do processo de agendamento cirúrgico.

Constatou-se que a utilização do binômio de algoritmos, resulta em um encadeamento de tomada de decisões capaz de otimizar o processo de marcação de procedimentos cirúrgicos. Por conseguinte, é possível reduzir o custo total final e reduzir o tempo que o paciente permanece na lista de espera.

Para futuras pesquisas, o modelo linear determinístico desenvolvido no agendamento cirúrgico mestre, poderá levar em consideração a variância da variável tempo de permanência pós operatório.

REFERÊNCIAS

ALWARD, R. R. Patient classification systems: the ideal vs. reality. **The Journal of nursing administration**, v. 13, n. 2, p. 14–19, 1983.

ANDRADE, G. et al., Um estudo da solução do problema de agendamento de cirurgias eletivas utilizando metaheurísticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** ABEPRO, 2012. p. 1-15, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2012_TN_STO_157_913_20827.pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

BAUM, L. E. et al. A maximization technique occurring in the statistical analysis of probabilistic functions of Markov Chains. **Statistics**, v. 41, n. 1, p. 164–171, 2011. Disponível em: <https://www.biostat.wisc.edu/~kbroman/teaching/statgen/2004/refs/baum.pdf>. Acesso em: 9 out. 2015.

BELIËN, J. Exact and heuristic methodologies for scheduling in hospitals: problems, formulations and algorithms. **4OR**, v. 5, n. 2, p. 157–160, 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10288-006-0006-4>. Acesso em: 13 set. 2015.

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E. A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 3, p. 652–668, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706011751>. Acesso em: 13 set. 2015.

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy: a case study. **SSRN Electronic Journal**, Dec. 2005a. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/abstract=870206>. Acesso em: 12 set. 2015.

BELOBABA, P. P. OR Practice—Application of a probabilistic decision model to airline seat inventory control. **Operations Research**, v. 37, n. 2, p. 183–197, Apr. 1989. INFORMS. Disponível em: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.37.2.183>. Acesso em: 14/9/2015.

BENJAMIN, L. S. Use of structural analysis of social behavior (SASB) and Markov chains to study dyadic interactions. **J. Abnormal Psychol**., p. 303-319, 1979.

BENNETT, C. C.; HAUSER, K. Artificial intelligence framework for simulating clinical decision-making: a Markov decision process approach. **Artificial intelligence in medicine**, v. 57, n. 1, p. 9–19, 2013. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365712001510>. Acesso em: 13/9/2015.

BLAKE, J. T.; DEXTER, F.; DONALD, J. Operating room managers' use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study. **Anesthesia and analgesia**, v. 94, n. 1, p. 143–148, 2002. Table of contents.

BLAKE, J. T.; DONALD, J. Mount Sinai Hospital Uses Integer Programming to Allocate Operating Room Time. **Interfaces**, p. 63-73, Apr. 2002. INFORMS. Disponível em: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.32.2.63.57>. Acesso em: 12 set. 2015.

BLOCH, S.; CORREIA, A. R.; PALAVRAS, R. Aplicação de programação linear em um problema de roteirização com rastreabilidade do roteiro. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA**, n. 2, p. 1–11, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/marineengineeringproceedings/spolm2014/127232.pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

BRUCKER, P. **Scheduling Algorithms**. Osnabruck: Springer, 2007. Disponível em: <http://image.sciencenet.cn/olddata/kexue.com.cn/bbs/upload/13134Scheduling%20Algorithms%20[Fifth%20Edition].pdf>. Acesso em: 19 out. 2015.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 3, p. 921–932, 2010a. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709002616>. Acesso em: 11 nov. 2014.

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 3, p. 921–932, 2010b. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709002616>. Acesso em: 11 nov. 2014.

CARTER, M. W.; TOVEY, C. A. When Is the Classroom Assignment Problem Hard? **Operations Research**, v. 40, n. 1, p. 28-39, 1992.

COSTA JUNIOR, Á. L. et al. Preparação psicológica de pacientes submetidos a procedimentos cirúrgicos. **Estudos de Psicologia (Campinas)**, v. 29, n. 2, p. 271–284, 2012.

DEBASTIANI, C. A. **Análise Técnica de Ações:** identificando oportunidades de compra e venda. São Paulo: Novatec, 2008.

DENTON, B.; VIAPIANO, J.; VOGL, A. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. **Health Care Management Science**, v. 10, n. 1, p. 13–24, 2007.

ERDOGAN, S. A.; DENTON, B. Dynamic appointment scheduling of a stochastic server with uncertain demand. **INFORMS Journal on Computing**, v. 25, n. 1, p. 116–132, 2013.

FONSECA, T. C. O. DA; APLICADA, I. DE P. E. **Fronteira de produção estocástica:** uma abordagem bayesiana.São Paulo: IPEA, 2005.

GERCHAK, Y.; GUPTA, D.; HENIG, M. Reservation Planning for Elective Surgery Under Uncertain Demand for Emergency Surgery. **Management Science**, v. 42, n. 3, p. 321–334, 1996. INFORMS. Disponível em: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.42.3.321>. Acesso em: 12 set. 2015.

GOCGUN, Y.et al. A Markov decision process approach to multi-category patient scheduling in a diagnostic facility. **Artificial intelligence in medicine**, v. 53, n. 2, p. 73–81, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365711000613>. Acesso em: 12 set. 2015.

GRINSTEAD, C. M.; SNELL, J. L. **Markov Chains. Introduction to Probability**, American Mathematical. New Jersey., 2010.

HAMILTON, L. R. **Case study: review of operating room utilization at Naval Hospital Jacksonville.** Estudo de caso (Graduate Program in Healthcare Administration) - U.S. Army-Baylor University, 2003. Disponível em: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA421228>. Acesso em: 13 set. 2015.

HAN, J.et al. Model of bed arrangement based on Priority Sort. 2010. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH NETWORKING DIGITAL ECOSYSTEMS AND TECHNOLOGIES (EDT). v. 1, p.125–128, 2010. **IEEE**. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=5496626>. Acesso em: 14 set. 2015.

HAUSKRECHT, M.; FRASER, H. Planning treatment of ischemic heart disease with partially observable Markov decision processes. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 18, n. 3, p. 221–244, 2000a. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365799000421>. Acesso em: 13 set. 2015.

HAUSKRECHT, M.; FRASER, H. Planning treatment of ischemic heart disease with partially observable Markov decision processes. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 18, n. 3, p. 221–244, 2000b. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365799000421>. Acesso em: 13 set. 2015.

HEATH, J.et al. Probabilistic model checking of complex biological pathways. **Theoretical Computer Science**, v. 391, n. 3, p. 239–257, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304397507008572>. Acesso em: 13 set. 2015.

HERROELEN, W.; LEUS, R. Project scheduling under uncertainty: survey and research potentials. **European Journal of Operational Research**. v. 165, p.289–306, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221704002401>. Acesso em: 19 out. 2015.

HILKHUYSEN, G. L. M.; et al. Waiting for elective surgery: a qualitative analysis and conceptual framework of the consequences of delay. **Public health**, v. 119, n. 4, p. 290–3, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033350604001799>. Acesso em: 10 set. 2015.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

HOUDENHOVEN, M. et al. A norm utilisation for scarce hospital resources: Evidence from operating rooms in a Dutch university hospital. **Journal of Medical Systems**, v. 31, n. 4, p. 231–236, 2007.

HURST, J.; SICILIANI, L. Tackling Excessive Waiting Times for Elective Surgery: A Comparison of Policies. In: OECD COUNTRIES, 12. **OECD Working Papers**, p. 1–55, 2003. Disponível em: <papers2://publication/uuid/5938C8DC-E228-46E4-A287-A220059A4619>. Acesso em: 19 se4t. 2015.

KOPACH-KONRAD, R.; LAWLEY, M.; CRISWELL, M.; et al. Applying systems engineering principles in improving health care delivery. **Journal of General Internal Medicine**, v. 22, n. SUPPL. 3, p. 431–437, 2007.

LAMIRI, M.et al. A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 3, p. 1026–1037, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706005832>. Acesso em: 31 jul. 2015.

LEWIS, S. L. et al. **Tratado de enfermagem médico-cirúrgica**: avaliação e assistência dos problemas clínicos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

LITTLEWOOD, K. Special Issue Papers: Forecasting and control of passenger bookings. **Journal of Revenue & Pricing Management**, v. 4, n. 2, p. 111–123, 2005. Palgrave Macmillan. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/pal/rpm/2005/00000004/00000002/art00002>. Acesso em: 14 set. 2015.

LITVAK, E.; LONG, M. C. Cost and quality under managed care: irreconcilable differences? **American Journal of Managed Care**, v.6, n.3, p. 305-312, Mar. 2000.

LUSSEAU, D. Effects of Tour Boats on the Behavior of Bottlenose Dolphins: Using Markov Chains to Model Anthropogenic Impacts. **Conservation Biology**, v. 17, n. 6, p.

1785–1793, 2003. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2003.00054.x>. Acesso em: 13 set. 2015.

MACARIO, A.; VITEZ, T. S.; DUNN, B.; MCDONALD, T. Where Are the Costs in Perioperative Care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care **Anesthesiology**, v. 83, n. 6, p. 1138-1144, 1995.

MAGERLEIN, J. M.; MARTIN, J. B. Surgical demand scheduling: a review. **Health services research**, v. 13, n. 4, p. 418–33, 1978. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1072083&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>. Acesso em: 12 set. 2015.

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E.; VAZ PATO, M. An integer programming approach to elective surgery scheduling. **OR Spectrum**, v. 34, n. 2, p. 407–427, 2011. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00291-011-0279-7>. Acesso em: 13 set. 2015.

MIN, D.; YIH, Y. An elective surgery scheduling problem considering patient priority. **Computers & Operations Research**, v. 37, n. 6, p. 1091–1099, 2010a. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054809002342>. Acesso em: 10 set. 2015.

MUSTAFEE, N. et al. Planning of bed capacities in specialized and integrated care units : in corporating bed blockers in a simulation of surgical throughput. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2012. **Proceedings…** Berlin: IEEE, 2012.

OOSTRUM, J.et al. A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments. **OR Spectrum**, v. 30, n. 2, p. 355–374, 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00291-006-0068-x>. Acesso em: 12 set. 2015.

PATRICK, J.; PUTERMAN, M. L.; QUEYRANNE, M. Dynamic Multipriority Patient Scheduling for a Diagnostic Resource. **Operations Research**, v. 56, n. 6, p. 1507–1525, 2008a. INFORMS. Disponível em: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.1080.0590>. Acesso em: 12 set. 2015.

PATRICK, J.; PUTERMAN, M. L.; QUEYRANNE, M. Dynamic Multipriority Patient Scheduling for a Diagnostic Resource. **Operations Research**, v. 56, n. 6, p. 1507–1525, 2008b. INFORMS. Disponível em: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.1080.0590>. Acesso em: 12 set. 2015.

PATTERSON, P. Is an 80% to 85% utilization a realistic target for ORs? **OR manager**, v. 13, n. 5, p. 1, 10–3, 1997. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10167347>. Acesso em: 13 set. 2015.
PERROCA, C. P. V. MARCIA G. Utilização de sistema de classificação de pacientes e métodos de dimensionamento de pessoal de enfermagem. The use of patient classification system and methods for nursing staff dimensioning. **Arq Ciênc Saúde**, v. 14, n. 1, p. 8–12, 2007. Disponível em:

<http://repositorio-racs.famerp.br/racs_ol/vol-14-1/id215.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.

PHAM, D.-N.; KLINKERT, A. Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 3, p. 1011–1025, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706005820>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PLANELLS ROIG, M. et al. [Surgical Complexity Classification Index (SCCI): a new patient classification system for clinical management of laparoscopic cholecystectomy]. **Cirugía española**, v. 84, n. 1, p. 37–43, 2008. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/5262270_Surgical_Complexity_Classification_Index_(SCCI)_a_new_patient_classification_system_for_clinical_management_of_laparoscopic_cholecystectomy>. Acesso em: 12 set. 2015.

RUFINI, A. L. Uso múltiplo e sustentável do cerrado Sensu Stricto: utilizando programação linear inteira. 2014. 81f. Dissertação (Doutorado em engenharia florestal) - UFLA. Lavras, 2014.

SARDENBERG, L. F. **Ministério da Saúde destina R$ 143,2 milhões para cirurgias eletivas**. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/cidadao/principal/agencia-saude/18789-ministerio-da-saude-destina-r-143-2-milhoes-para-cirurgias-eletivas>. Acesso em: 9 set. 2015.

SAURÉ, A.et al. Dynamic multi-appointment patient scheduling for radiation therapy. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, p. 573–584, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722171200522X>. Acesso em: 22 abr. 2015.

SELMA, D.; MORI, B. D. C. Consultas Médicas : **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 39, n. 2, p. 78–87, 1999. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/rae/v39n2/v39n2a08 > Acesso em: 19 out. 2015.

SHUKLA, R. K.; KETCHAM, J. S.; OZCAN, Y. A. Comparison of subjective versus data base approaches for improving efficiency of operating room scheduling. **Health services management research :** an official journal of the Association of University Programs in Health Administration / HSMC, AUPHA, v. 3, n. 2, p. 74–81, 1990. SAGE Publications. Disponível em: <http://hsm.sagepub.com/content/3/2/74.abstract>. Acesso em: 13 set. 2015.

SOBOLEV, B.; KURAMOTO, L. **Analysis of Waiting-Time Data in Health Services Research**.Vancouver: Springer Science Business Media, 2008.

SPYROPOULOS, C. D. AI planning and scheduling in the medical hospital environment. **Artificial Intelligence in Medicine**, v. 20, n. 2, p. 101–111, 2000. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0933365700000592>. Acesso em: 13 set. 2015.

STANCIU, A. **Applications of revenue management in healthcare**. 2009. 96f . Dissertação (Doutorado em filosofia). Faculty of Joseph M. Katz Graduate School of Business in partial fulfillment. Disponível em: <http://d-scholarship.pitt.edu/8718/1/Stanciu_etd2009Pitt.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

STANCIU, A.; VARGAS, L.; MAY, J. A revenue management approach for managing operating room capacity. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. 2010. **Proceedings...** . p.2444–2454, 2010. IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=5678940>. Acesso em: 14 set. 2015.

STRUM, D.et al. Surgical suite utilization and capacity planning: a minimal cost analysis model. **Journal of medical systems**, v. 21, n. 5, p. 309–22, 1997. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9507407>. Acesso em: 13 set. 2015.

TANG, H.et al. Applying the capacity allocation model to appointment management in nuclear medicine department. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE SYSTEMS AND SERVICE MANAGEMENT (ICSSSM). 11., 2014, **Anais eletrônicos...** . p.1–5, 2014. IEEE. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=6943368>. Acesso em: 13 set. 2015.

TESTI, A; et al. Prioritizing surgical waiting lists. **Journal of evaluation in clinical practice**, v. 14, n. 1, p. 59–64, 2008. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18211645>. Acesso em: 13 set. 2015.

WEINBROUM, A. A.; EKSTEIN, P.; EZRI, T. Efficiency of the operating room suite. **The American Journal of Surgery**, v. 185, n. 3, p. 244–250, 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002961002013624>. Acesso em: 13 set. 2015.

WILLIAMS, S.; CROUCH, R. Emergency department patient classification systems: a systematic review. **Accident and Emergency Nursing**, v.14, n.3, p. 160-170, 2006.

WRIGHT, I. H.et al. Statistical Modeling to Predict Elective Surgery Time. **Anesthesiology**, v. 85, n. 6, p. 1235–1245, 1996.
Disponível em:
<http://europepmc.org/abstract/med/8968169>. Acesso em: 13/9/2015.

XHAFA, F.; ABRAHAM, A. Computational models and heuristic methods for Grid scheduling problems. **Future Generation Computer Systems**, v. 26, n. 4, p. 608–621, 2010.
YANG, Y.et al. D. Applications of computer simulation in medical scheduling. **Proceedings of the joint conference on information sciences,** 2000. Disponível em:

<http://www.researchgate.net/publication/228830736_Applications_of_computer_simulation_in_medical_scheduling>. Acesso em: 14/9/2015

ZHANG, L. et al. Time-aware test-case prioritization using integer linear programming. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOFTWARE TESTING AND ANALYSIS - ISSTA. 18., 2009. **Proceedings...** p.213, 2009. New York, New York: ACM Press. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1572272.1572297>. Acesso em: 14 set. 2015.

ZHOU, J.; DEXTER, F. Method to Assist in the Scheduling of Add-on Surgical Cases-Upper Prediction Bounds for Surgical Case Durations Based on the Log-normal Distribution. **Anesthesiology**, v. 89, n. 5, p. 1228–1232, 1998. Disponível em: <http://europepmc.org/abstract/med/9822012>. Acesso em: 13 set. 2015.

APÊNDICE A - ALGORITMO AGENDAMENTO CIRURGICO MESTRE

A.1 *FUNÇÃO OBJETIVO*

```
% restrição de igualdade
% somatoria de xis (operações no dia i do tipo s) em todo o ciclo ativo
% deve ser igual a rs
D =[1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0
   0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0
   0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0];
rs = [7;8;5];
% restrição desigualdades
% somatoria de todas as cirurgias por dia não pode ser maior q a capacidade
% do centro cirurgico
C =[1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
   0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
   0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
   0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0
   0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0];
bi = [5;5;5;5;5];
% ponto inicial (considerando todos os itens iguais a zero
x0 = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]';
% Limite inferior <= zero
lb = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
% FUNCAO DE MINIMO COM RESTRIÇÕES
[var,fval] = fmincon (@(x) Function_Media_Linear_rev1(x),x0,C,bi,D,rs,lb);
```

A.2 DADOS CIRÚRGICOS

```
% Dados cirurgicos para simulação programação linear
% probabilidade cirurgica discretas
p (1,:) = [.19 .32 .23 .13 .13];% probabilidade Coronária
p (2,:) = [.68 .18 .06 .04 .03];% probabilidade Arritmia
```

```
p (3,:) = [.11 .19 .25 .23 .21]; % probabilidade Valvar

% LOS (Length of Stay) - tempo de permanencia pos cirurgico
LOS (1,:) = [6 7 8 9 10];%los coronária
LOS (2,:) = [1 2 3 4 5 ];%los arritmia
LOS (3,:) = [6 7 8 9 10];%los valvulas
% comprimento do ciclo (l) - 1 semana
l = 7;
% periodos ativos (A) - dias uteis da semana
A = 5;
% número de cirurgiões (S) = igual ao número de cirurgias
[S,~] = size (p);
% entende-se por cirurgiões neste artigo como grupo cirúrgico que realiza
% o mesmo tipo de cirurgia
Media (1,l) = zeros;
```

A.3 FUNÇÃO DISTANCIA DIAS DA SEMANA

```
function [distancia] = function_days_week( i,j )
%Funcao dias da semana
% Funcao dias da semana
% dado dia i e j referente aos dias da semana
% segunda dia 1, terça 2,...
% dia i - dia fim de recuperação
% dia j - dia da cirurgia
%distancia entre o dia i e o dia j sendo que
%dia i menor que dia j, somara uma semana
if j <= i
   distancia = i-j+1;
else
   distancia = 7+i-j+1;
```

```
end
end
```

A.4 DEFINIÇÃO MATRIZ AGENDAMENTO

```
function  [Max_Média] = Function_Media_Linear(x)
%Function_Media_Linear Função para calcular a média linear de ocupaçao
% de leitos por dia da semana
% chama o script dados_cirurgicos que contem os dados cirurgicos do
% hospital
dados_cirurgicos;
% Maior qtde de leitos ocupados do vetor Media
% Matriz Mat_jx - qtde de pessoas operadas no dia (j) por tipo cirurgico (x)
Mat_jx =
[x(1),x(2),x(3),x(4);x(5),x(6),x(7),x(8);x(9),x(10),x(11),x(12);x(13),x(14),x(15),x(16);x(17)
,x(18),x(19),x(20)]
Calc_Media;
Max_Media = max(Media)
%Function_Media_Linear_rev1 = max (Media)
```

A.5 CÁLCULO DA MÉDIA

```
xis = [2 5 1];% blocos cirurgicos coronária - arritmia - valvar
for i = 1:l
%tipo de cirurgia
for s = 1:S
% tempo maximo de permanencia esperado do tipo de cirurgia s;
ms = max (LOS(s,:));
% tempo minimo de permanencia esperado do tipo de cirurgia s;
i0 = min (LOS(s,:));
for j = 1:A
```

```
%nº pacientes escolhido para cirurgia no dia j do tipo s;
ns = Mat_jx (j,s);
% Distancia em dias entre o dia i e o dia da operação j;
dist = function_days_week (i,j);
if dist<i0
   Media (i) = Media (i) + ns*ceil(dist/l)*xis(s);
elseif dist>=i0 && dist<=ms
for d = dist:ms
   ind = find (LOS(s,:)==d);
   Media (i) = Media (i) + p(s,ind)*ns*ceil(d/l)*xis(s);
end
else
   Media(i)=Media(i);
end
end
end
end
Media
```

APÊNDICE B - ALGORITMO AGENDAMENTO ELETIVO POR PRIORIDADE

B.1 ALGORITMO PRINCIPAL

```
% algoritmo execução pacientes
% n = index
% Vn(x) = função valor
% w = número total de pacientes em uma lista de espera (modulo de s)
% Smax = tamanho máximo de uma lista de espera
% valores iniciais
clear;
a_max=0;
n = 1;
w = 1; % w inicial
Smax = 16;
V_n(1) = 0;
x=1;
tam = 0;
sim = 50;
somat_chegada = 0;
b_x=1;
crit = input ('Entre com o valores criticos alta,  média, baixa criticidade respectivamente : ');
while w <= Smax
   n = n+1;
   % conjunto de todos estados possiveis dado w
   % conj_s : conjunto de todos vetores estados possiveis w
   % length_x : quantidade de vetores estados possiveis s dado w
   [conj_s,length_x] = Function_S_w (w);
   if w == 1
     stotal = [conj_s];
  else
     stotal = [stotal;conj_s];
```

```
  end
   m=0;
   for i = 1:length_x
       % conjunto de todas as ações possiveis dado vetor s
ct_ant = 10000000; % valor inicial alto apenas para não entrar na conta;
   estado = conj_s(i,:);
   acoes = [];
[acoes,na]= Conj_acoes (estado);

 %% otimizacao do algoritmo, utilizando propriedade monotonica do algoritmo
 % onde max {a(s-ei),a(s(w-1))}<=a<=|s(w)|;
 %% corte de ações pela propriedade monotonica
 for t = 1:na
   l = sum (acoes(t,:));
   if l>= a_max
       acoes_max(b_x,:) = (acoes(t,:));
       b_x = b_x+1;
   end
 end
 t=1;
 b_x=1;
  acoes = acoes_max;
  acoes_max = [];
a_ceil = 8; % número máximo de ações possíveis
a_sum = sum(acoes');
[~,ind] = find ((a_sum)>=a_ceil);
acoes (ind,:)=[];
  na = length (acoes);na = size (acoes);
na = na (1);
  vTsac(na,4) = zeros;
```

```
 %% calculando custo total dado estado
   for f = 1:na

   [ct_adto] = function_custo_r1 (crit,f,estado,acoes);
    action_2 = sum (acoes(f,:));
   if action_2 ==0
       ct_HE = 0;
   else
   [ct_HE] = Function_custoHE_r1 (action_2);
   end
   produtoria = 0;
    for a = 1: sim
[np,dem] = Function_Chegada;
produto_1 = np * (estado-acoes(f,:)+dem)*V_n(n-1);
produtoria = produto_1 + produtoria;
  end
ctotal  = ct_adto+ct_HE+0,99*produtoria;
%% criando matriz (acao, custo total) para futura comparacao
vTsac(f,:) = [acoes(f,:),ctotal];
   end
   %% encontrando argmin ação dado estado
   c_min = min (vTsac(:,4));
   r_min = find (vTsac(:,4)==c_min);
   z = length (r_min);
   for b = 1:z
   a_min (b,:) = vTsac(r_min(b),1:3);
   mat_amin (m+b,:,w) = [estado,a_min,c_min];
   end
       vTsac = [];
   m = m+b
   end
```

```
  V_n(n) = min (mat_amin(:,7,w));
  g = size (mat_amin(:,:,w));
  g = g(1);
  %% determinando a_max
  a_max = sum(mat_amin (1,4:6,w));
  for s = 2:g
  a_max_1 = sum (mat_amin(s,4:6,w));
  if a_max_1 > a_max
     a_max = a_max_1
  end
  end
  % determinando os pontos dos graficos
  p(w) = a_max;
     w = w+1;
  end
% construindo o grafico
hold on
title (['ações para ', mat2str(crit)]);
x = [1:1:Smax];
ylabel ('n. Maximo Açoes');
xlabel ('estados');
plot (x,p,'--r');
plot (x,p,'square');
grid;
axis ('tight');
hold off
```

B.2 FUNÇÃO DEFINIÇÃO DE TODOS ESTADOS POSSÍVEIS

```
function [ prod_prob,dem ] = Function_Chegada()
% Simulação para chegadas de novos pacientes
```

```
% pacientes são separados em alta, média, baixa prioridade
% p (i) chegada de pacientes, com i variando de 1-3.De acordo com o artigo
% as novas chegadas são modeladas como distribuição de poisson com
% parametros 1, 5, 3 respectivamente para pacientes de alta, média, baixa
% prioridade
Demanda(3) = zeros;
for i = 1:3
   if i == 1
      lambda = 1;
   elseif i ==2
      lambda = 5;
   else
      lambda = 3;
   end
   Demanda (i) = poissrnd (lambda);
   prob (i) = poisspdf (Demanda(i),lambda);
end
dem = [Demanda(1),Demanda(2),Demanda(3)];
prod_prob = prod (prob);
end
```

B.3 FUNÇÃO DEFINIÇÃO DE TODOS AÇÕES POSSÍVEIS

```
function [ action, Laction ] = Conj_acoes( estado )
%define o campo de açoes possiveis para cada estado na entrada da função
%   Com o estado de pacientes (alto, medio, baixo risco) iniciais a função
%   ira definir o conjunto de ações possiveis;
%definição de variaveis iniciais
linha = 1;
z_1=0;
z_2=0;
```

```
z_3=0;
% laço para criação de conjunto de açoes possiveis
for a = 1: estado(1)+1;
   for b = 1: estado(2)+1;
      for c = 1: estado(3)+1;
         action(linha,:)= [z_1,z_2,z_3];
         linha = linha+1;
         z_3 = z_3+1;
      end
      z_3 =0;
      z_2=z_2+1;
   end
   z_3= 0;
   z_2=0;
   z_1 = z_1+1;
end
Laction = size (action);
Laction = Laction (1);
```

B.4 FUNÇÃO CUSTO ADIAMENTO CIRURGICO

```
function [ Cadtotal ] = function_custo_r1(ct, na1, s,a  )
%Cadto função calculo custo de adiamento cirurgico x custo horas extras
%   Função executara trade-off entre adiamento de cada cirurgia separada por
%   nivel de criticidade e custos extras por agendar cirurgias por
%   mais tempo do que a capacidade cirurgica do hospital
% ct [x,y,z] vetor custo de adiamento de criticidade alta, média , baixa
% respectivamente
% na1 - linha do vetor ação
% s - vetor estado - indica número de pacientes a serem agendados
% cirurgicamente
```

```
% a - vetor ação - indica ações a serem tomadas em função de s
% Cadto: custo adiamento cirúrgico
% Cadtotal: somatória custos adiamento de todas criticidades
Cadtotal = 0;
for b2 = 1:3 % nível de criticidade pacientes
   Cadto = ct(b2) * (s(b2)-a(na1,b2));
   Cadtotal = Cadto + Cadtotal;
end
end
```

B.5 FUNÇÃO CHEGADA DE NOVOS PACIENTES

```
function [ prod_prob,dem ] = Function_Chegada()
% Simulação para chegadas de novos pacientes
% pacientes são separados em alta, média, baixa prioridade
% p (i) chegada de pacientes, com i variando de 1-3.De acordo com o artigo
% as novas chegadas são modeladas como distribuição de poisson com
% parametros 1, 5, 3 respectivamente para pacientes de alta, média, baixa
% prioridade
Demanda(3) = zeros;
for i = 1:3
   if i == 1
      lambda = 1;
   elseif i ==2
      lambda = 5;
   else
      lambda = 3;
   end
   Demanda (i) = poissrnd (lambda);
   prob (i) = poisspdf (Demanda(i),lambda);
end
```

```
dem = [Demanda(1),Demanda(2),Demanda(3)];
prod_prob = prod (prob);
end
```

B.6 FUNÇÃO CUSTOS EXTRAS

```
function [ CT_HE ] = Function_custoHE( Npa )
%Function_custoHE marca o custo de se ter um número pacientes maior que a
%capacidade da sala cirúrgica, levando a custo extras
% considerando a cirurgia de arritmia cada paciente normalmente distribuída com
% média 71.38 minutos e variância 25.66 minutos.
% Npa = número de pacientes agendados (somatória dos pacientes alta, média,
% baixo risco)
% X = média e desvio dos pacientes distribuídos normalmente com 60 min de
% média e 10 de variância
% Mag = somatória de médias dos pacientes;
% Var_X = variância do tempo de duração dos pacientes agendados
% SVar_X = Somatória das variâncias do tempo de duração dos pacientes
% agendados;
% Var_Xm = variância média do tempo de duração dos pacientes agendados
% miX = média tempo excedido (somatória de médias dos pacientes agendados -
% média da capacidade das salas cirúrgicas)
% Etexc = Expectativa tempo excedido - tempo esperado de horas excedidas para
% realização da cirurgia

%Co - custo unitário por minuto
% Cap_cir = capacidade cirúrgica das salas e é de 480 min
Cap_cir = 480*4;% 4 salas cirúrgicas utilizadas
X (Npa) = zeros;
Mag = 0;
Var_X (Npa) = zeros;
```

```
SVar_X = 0;
for i = 1:Npa
    X(i)= normrnd (296.7,67.8);
    Mag = Mag + X(i);
end
for m = 1: Npa
    Var_X (m) = ((Mag/Npa)-X(m))^2;
end
Var_Xm = sum (Var_X);
Sigma_Xm = sqrt (Var_Xm);
miX = Mag - Cap_cir;
A = (miX/Sigma_Xm);
B=(Sigma_Xm/sqrt(2*pi))*exp(-(miX)^2/(2*Var_Xm));
P = normcdf (A,0,1);
Etexc = miX*A*P+B;
 if Etexc <=0
    Co = 0;
elseif Etexc < 60
    Co = 1;
elseif Etexc >= 60 && Etexc <= 150
    Co = 2;
else
    Co = 4;
end
CT_HE = Co * Etexc;
end
```