



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

**EMANUELA JORDÂNIA MARQUES DA COSTA**

**MODELAGEM MATEMÁTICA E TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO APLICADA**  
**EM UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE**  
**ESCALAS DE TRABALHO NA ÁREA MÉDICA**

**FORTALEZA - CEARÁ**  
**2013**

EMANUELA JORDÂNIA MARQUES DA COSTA

MODELAGEM MATEMÁTICA E TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO APLICADA  
EM UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE ESCALAS DE  
TRABALHO NA ÁREA MÉDICA

Dissertação submetida à Comissão Examinadora do Programa de Pós-Graduação Acadêmica em Ciências da Computação Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de título de Mestre em Ciência da Computação.  
Área de Concentração: Otimização Matemática.

FORTALEZA - CEARÁ

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Universidade Estadual do Ceará**  
**Sistema de Bibliotecas**

Costa, Emanuela Jordânia Marques da.

Modelagem Matemática e Técnica de Otimização Aplicada em um Sistema Computacional para o Planejamento de Escalas de Trabalho na Área Médica

[recurso eletrônico] / Emanuela Jordânia Marques Da Costa. - 2013.

1 CD-ROM: il.; 4  $\frac{3}{4}$  pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 60 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação, Fortaleza, 2013.

Área de concentração: Otimização Matemática.

Orientação: Prof. Dr. Gerardo Valdísio Rodrigues Viana.

Coorientação: Prof. Dr. Antonio Clécio Fontelles Thomaz.

1. Otimização. 2. Modelagem Matemática. 3. Alocação de Médicos. 4. Programação Linear Inteira. I. Título.

EMANUELA JORDÂNIA MARQUES DA COSTA

**MODELAGEM MATEMÁTICA E TÉCNICA DE OTIMIZAÇÃO APLICADA  
EM UM SISTEMACOMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE ESCALAS  
DE TRABALHO NA ÁREA MÉDICA**

Dissertação submetida à Comissão Examinadora do Programa de Pós-Graduação Acadêmica em Ciências da Computação da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de título de Mestre em Ciência da Computação.

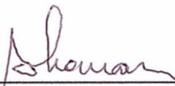
Área de Concentração: Otimização Matemática.

Aprovada em: 20 de Setembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gerardo Valdísio Rodrigues Viana (Orientador)  
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Antonio Clécio Fontelles Thomaz (Co-Orientador)  
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. Leonardo Sampaio Rocha  
Universidade Estadual do Ceará - UECE



Prof. Dr. José Lassance de Castro Silva  
Universidade Federal do Ceará - UFC

## RESUMO

A alocação de recurso deriva de um processo pelo qual são quantificados e distribuídos recursos existentes, em uma organização isso se torna um problema quando exíguo e limitados. Na literatura existem várias soluções propostas para o problema de alocação de recursos humanos que constitui um problema clássico da matemática aplicada. Desse modo, como objetivo geral desta dissertação é apresentar uma metodologia de resolução para otimizar o processo de alocação de recursos humanos na área médica de forma eficiente através do uso de técnicas de otimização. Nesse caso, os objetivos específicos consistem em caracterização dos problemas atuais de planejamento da alocação e dimensionamento de equipes médicas nos plantões de uma unidade de atendimento; analisar a eficiência do modelo de programação linear na resolução do problema; e, conceber e implementar um ambiente computacional para definição das escalas validando o procedimento proposto. A metodologia utilizada é uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem quantitativa. Esta pesquisa terá ênfase apenas em estudar a gestão de escalonamento de médicos em plantões, com o objetivo de maximizar o número de atendimentos diários, totalizando o maior número de restrições que satisfaçam a escolha pessoal de cada médico e as políticas compulsória de cada Unidade de Atendimento (UA). Dessa forma, espera-se por meio desta pesquisa explorar as técnicas otimização e demonstrar a sua eficiência na resolução de problemas de alocação de recursos humanos, garantindo assim uma boa solução para o planejamento de escalas médicas.

**Palavras-chave:** Otimização. Modelagem Matemática. Alocação de Médicos. Programação Linear Inteira.

## ABSTRACT

The resource allocation is derived from a process by which existing resources are quantified and distributed in an enterprise that becomes a problem when exiguous and limited. In the literature there are several proposed solutions to the problem of allocation of human resources, which is a classical problem of applied mathematics. Thus, the general objective of this paper is to present a resolution methodology to optimize the process of allocation of human resources in the medical field efficiently through the use of optimization techniques. In this case, the specific objectives are to characterize the current problems of allocation planning and design of medical teams in shifts of a service unit; analyze the efficiency of the linear programming model to solve the problem; and, design and conceive a computational environment to define the scales validating the proposed procedure. The methodology used is a kind of applied research with a quantitative approach. This research will emphasis only on studying the scheduling management doctors in shifts, with the aim of maximize the number of daily visits, totaling the highest number of restrictions that satisfy the personal choice of each doctor and the "compulsory policies" of each Care Unit (UC). Thus, it is expected through this research explore techniques of optimization and demonstrate their efficiency in solving human resource allocation problems, thus ensuring a good solution for the planning of medical scales.

**Key words:** Optimization. Mathematical Modeling. Doctors allocation. Linear Programming Integer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimento da Metodologia aplicada à Pesquisa .....	14
Figura 2 – Trâmite do Processo de Atendimento de um Paciente.....	24
Figura 3 – Distribuição dos médicos em uma Unidade de Atendimento.....	26
Figura 4 – Mapa Mental dos Dados de Input e Output .....	28
Figura 5 – Modelo executado no Lingo.....	31
Figura 6 – Resultado do modelo.....	31
Figura 7 – Solução de alocação médico em unidade de atendimento .....	32
Figura 8 – Diagrama de funcionalidades do Sistema. ....	38
Figura 9 – Diagrama de classe.....	39
Figura 10 – Diagrama de Sequência .....	41
Figura 11 – Representa arquitetura Visão Lógica .....	44
Figura 12 – Representa arquitetura da aplicação utilizada no Projeto. ....	45
Figura 13 – Tela de Login.....	54
Figura 14 – Menu do Sistema.....	54
Figura 15 – Tela de Parâmetro do Sistema .....	55
Figura 16 – Cadastro de Unidade de Atendimento.....	55
Figura 17 – Cadastro de Turno.....	56
Figura 18 – Cadastro de Especialidade.....	56
Figura 19 – Cadastro de Médico .....	57
Figura 20 – Cadastro de Restrição Opcional.....	57
Figura 21 – Restrição Opcinal .....	58
Figura 22 – Tela de Escala Gerada por Médico .....	58
Figura 23 – Relatório de Escala de Plantão Médico.....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapa do Processo de Planejamento de Escalas .....	11
Quadro 2 – Métodos de busca para problemas de otimização.....	18
Quadro 3 – Comparativo dos trabalhos relacionados.....	22

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

$i$	Unidade de Atendimento em que a alocação será realizada;
$j$	Semana da alocação (período);
$k$	Especialidade a ser alocado;
$h$	Médico a ser alocado;
$X_{ijkh}$	Alocação, sendo os índices de cada alocação:
$C_{ijkh}$	Prioridade de cada alocação;
$I=\{1\dots m\}$	Conjunto das Unidades de Atendimento;
$J=\{1\dots n\}$	Conjunto dos períodos de alocação;
$K=\{1\dots p\}$	Conjunto de especialidade médicas;
$H=\{1\dots q\}$	Conjunto de médicos;
$K_h$	Conjunto dos médicos $h$ pode exercer a especialidades $k$ ;
$H_{kh} \in \{0,1\}$	Evita contraposição de especialidades médicas ao mesmo tempo;
UA	Unidade de Atendimento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	CONTEXTO.....	11
1.2	OBJETIVOS.....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
1.3	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	13
1.4	METODOLOGIA APLICADA À PESQUISA .....	14
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	15
<b>2</b>	<b>PESQUISA OPERACIONAL E TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO.....</b>	<b>16</b>
2.1	PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO .....	17
2.2	PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA .....	19
2.3	TRABALHOS RELACIONADOS.....	21
<b>3</b>	<b>APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO AO PROBLEMA PROPOSTO .....</b>	<b>23</b>
3.1	GESTÃO DE RECURSOS HUMANOS EM SAÚDE .....	23
3.2	O FLUXO NO PROCESSO DE ATENDIMENTO DE PACIENTE EM UNIDADE DE ATENDIMENTO .....	23
3.3	OS SETORES DE ATUAÇÃO EM UNIDADES DE ATENDIMENTOS .....	25
3.4	A FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO APLICADO AO PROBLEMA PROPOSTO.....	26
<b>3.4.1</b>	<b>As variáveis do problema de alocação de médico em unidade de atendimento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.2</b>	<b>As restrições do problema de alocação de médico em unidade de atendimento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Modelo aplicado ao Problema .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS COMPUTACIONAIS .....</b>	<b>34</b>
4.1.	CARACTERÍSTICA E MODELAGEM DO SISTEMA ALOCMED .....	34
<b>4.1.1</b>	<b>Visão Geral do Projeto AlocMed.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Requisitos Não Funcionais .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Requisitos Funcionais.....</b>	<b>35</b>
4.2	ANÁLISE DE DOMÍNIO DO SISTEMA .....	36
<b>4.2.1</b>	<b>Diagrama de caso de uso.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.2</b>	<b>DIAGRAMA DE CLASSES .....</b>	<b>38</b>

<b>4.2.4</b>	<b>Diagrama de sequência</b> .....	<b>40</b>
4.3	FERRAMENTAS DE IMPLEMENTAÇÃO .....	41
<b>4.3.1</b>	<b>Java</b> .....	<b>41</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Tomcat</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Postgres</b> .....	<b>43</b>
4.4	Aspectos da Interface Visual.....	43
<b>4.4.1</b>	<b>Arquitetura do Projeto e Ambiente de Desenvolvimento</b> .....	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>47</b>
5.1	RESULTADOS ALCANÇADOS .....	47
5.2	TRABALHOS FUTUROS .....	47
	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>48</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE A - ALOCMED – SISTEMA DE ALOCAÇÃO DE MÉDICOS</b> .....	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo visa apresentar algumas considerações sobre o problema de planejamentos de escalas na área médica, assim como aborda os objetivos, motivação, justificativas, os trabalhos relacionados e a organização do documento.

### 1.1 CONTEXTO

Nos últimos anos, o número de usuários que utiliza o serviço dos sistemas de saúde no Brasil tem aumentado de maneira bastante expressiva, tornando necessário um melhor planejamento de atendimento nos plantões e a ampliação das Unidades de Atendimento (UA). No entanto, é importante destacar o dimensionamento de recursos humanos nesse setor é de fato necessário para absorver a demanda. Para melhor otimizar o atendimento, a escala de um ou mais médicos deve ser planejada.

A atividade de preparar gradualmente as escalas para plantões médicos durante um período em uma Unidade de Atendimento (UA) é um processo de gestão de dimensionamento e distribuição de recursos humanos. Para compor a elaboração das escalas médicas algumas influências podem comprometer o atendimento em destaque temos: o número dos médicos e suas especialidades, cargas horárias, licenças médicas, turnos, limitações e produtividade dos médicos envolvidos, relação entre os médicos escalados, grau de dependência entre pacientes e complexidade à especialização do atendimento, esse fatores pode garantir uma elaboração de escalas que promova assistência de qualidade. Além disso, outros fatores influenciam de forma direta como a capacidade de percepção, avaliação e identificação dos recursos diretamente ligados as demandas. As Etapas no processo de planejamento de escalas médicas são visualizadas no quadro 1.

#### Quadro 1 – Etapa do Processo de Planejamento de Escalas

(Continua)

<b>Planejar escalas por período</b>	Agendar a escala do médico plantonista no tempo transcorrido durante um intervalo, normalmente um período de 4 semanas;
<b>Selecionar médicos</b>	Identificar a quantidade de médicos por especialidade, requerida para suprir as necessidades de assistência de atendimento.

### Quadro 1 – Etapa do Processo de Planejamento de Escalas

(Conclusão)

<b>Classificar Pacientes</b>	Auxiliar no dimensionamento de médico por critérios formais através da complexidade e gravidade do paciente como no mapeamento e gerenciamento da especialidade mais requisitada de acordo com as necessidades das escalas de trabalho diário.
<b>Definir restrições compulsórias</b>	Estabelecer uma série de regras impostas pelo regulamento da unidade de atendimento que não pode ser violada e que deve satisfazer as leis trabalhistas.
<b>Definir restrições opcionais</b>	Equilibrar a carga horária de trabalho com as preferências impostas da equipe plantonista.

Fonte: Elaborado pelo autor

A dificuldade no gerenciamento de planejar as escalas está baseada em parâmetros de algumas situações adversas assim esses fatores podem prejudicar o seu real como: faltas não previstas que é uma prerrogativa que ocasiona a sobrecarga de trabalho (em razão da instabilidade da demanda) e atividades não planejadas como: encaminhamentos de pacientes para exames, intervenções e outras. O número insuficiente de médicos pode influenciar na sobrecarga de trabalho entre os presentes, o que acarreta a insatisfação e declínio da qualidade do cuidado com o paciente. Além disso, pode contribuir para aumentar o índice de absenteísmo na unidade, refletido pelo número de ausências não previstas em relação ao volume da demanda planejada, gerando uma atenção maior para redimensionar o quadro de médico na unidade de atendimento.

Este é um problema de alocação e dimensionamento de recursos humanos que resulta em um interesse prático bastante pesquisado por seu grau de complexidade e caracterizado como um problema de otimização comum em várias organizações e em diversas atividades.

Neste trabalho, o problema estudado é um caso particular de alocação que se fundamenta em designar pessoas a turnos num determinado período. Esse caso consiste em distribuir médicos plantonistas nos turnos de trabalho para disponibilizar nas Unidades de Atendimento de tal maneira que esta distribuição satisfaça um conjunto de restrições definidas previamente requerida pelo médico especialista para o plantão além de ter como requisito as leis trabalhistas. Esse problema evidencia um alto dinamismo, geralmente elaborado de forma manual que pode ser considerado dispendioso pelos fatores que podem ser alterados em função da demanda.

A proposta da resolução desse problema é uma modelagem matemática, onde algumas propriedades ou restrições serão abordadas, com a utilização de técnicas de otimização como opção a programação linear inteira para explorar o espaço da melhor solução.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho se dividem em objetivo geral e objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Visa apresentar uma metodologia de resolução para otimizar o processo de alocação de recursos humanos na área médica de forma eficiente através do uso de técnicas de otimização.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Este estudo detalha uma pesquisa aplicada, que tem como objetivos específicos os passos para o desenvolvimento de um ambiente computacional que servirá de orientação e controle no planejamento do dimensionamento ou alocação em plantões médico sedimentado em:

- a) Caracterização dos problemas atuais de planejamento da designação ou alocação e dimensionamento de equipes médicas nos plantões de uma unidade de atendimento;
- b) Analisar a eficiência do modelo de programação linear na resolução do problema;
- c) Conceber e implementar um ambiente computacional para definição das escalas validando o procedimento proposto;

## 1.3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

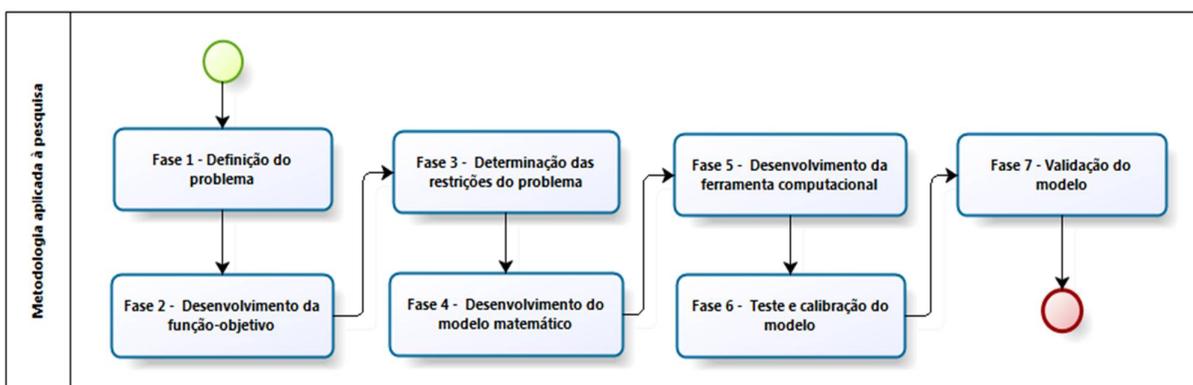
Alocação de recursos humanos é um problema complexo e deve levar em consideração as restrições impostas devem está combinados com um tempo de processamento considerável, esse tema é multidisciplinar, diversos autores da literatura propõe a aplicação em várias áreas como: financeira, política, saúde, educação entre

outras. Este trabalho foi motivado pela dificuldade encontrada para a atividade de geração de escalas médicas através do seu planejamento e dimensionamento garantindo o cumprimento operacional e a qualidade de atendimento diário para os usuários dos serviços em um sistema de saúde.

#### 1.4 METODOLOGIA APLICADA À PESQUISA

Por meio da análise dos principais problemas de alocação de recursos humanos encontrados na literatura este trabalho foi realizado através de uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem quantitativa, que visa melhorar uma situação atual e o desempenho da tomada de decisão no planejamento de escalas médicas para o atendimento agregado a demanda de paciente em uma Unidade de Atendimento. Para o desenvolvimento e aplicação dessa pesquisa foram contemplados os procedimentos de forma sequencial e por fase, conforme apresentado na figura 1.

**Figura 1 – Procedimento da Metodologia aplicada à Pesquisa**



Fonte: Elaborada pelo autor

1. Definição do problema: feita com levantamento de dados da literatura foi definido o escopo do problema em estudo;
2. Desenvolvimento da função-objetivo: nesta fase a metodologia foi aplicada para construção do modelo e concretização da fase 1 em formalização matemática;
3. Determinação das restrições do problema: nesta fase a metodologia foi aplicada para construção do modelo e concretização da fase 1 em formalização matemática;
4. Desenvolvimento do modelo matemático: nesta fase a metodologia foi aplicada para construção do modelo e concretização da fase 1 em formalização matemática;

5. Desenvolvimento da ferramenta computacional: esta fase utilizou métodos e ferramentas específicas para o desenvolvimento das fases 2, 3 e 4;

6. Teste e calibração do modelo: nesta fase foi efetuada a avaliação do resultado, verifica e calibra o modelo proposto;

7. Validação do modelo: por fim, a última fase implementa a solução transformando os inputs em outputs.

A aplicação e acompanhamento contínuo da metodologia se deu durante todo o processo de implementação deste trabalho.

## 1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, Além da introdução e conclusão, a pesquisa está estruturada em três capítulos.

**Capítulo 1:** A introdução para o tema escolhido, a motivação e a justificativa são levantadas, os objetivos são definidos (geral e específicos) e a estruturação do trabalho é apresentada.

**Capítulo 2:** Trata da fundamentação teórica com a abordagem sobre a pesquisa operacional e técnicas de otimização, apresentando seus conceitos a partir de um contexto geral. Além disso, é tratado também da programação linear inteira como foco para o trabalho.

**Capítulo 3:** É feita uma interação da modelagem matemática e programação linear inteira com a alocação de médicos. Para tanto inicialmente é feita uma abordagem sobre gestão de recursos humanos correlacionado com a saúde, bem como alocação de médicos, sendo transcrito também o fluxo no processo de atendimento de paciente em unidade de atendimento, apresentando a formulação do problema, suas restrições e variáveis de decisão, onde são descritos os métodos e modelos desenvolvidos para o problema proposto.

**Capítulo 4:** Tem-se os resultados computacionais, a partir das características e modelagem do sistema AlocMed, visão geral do projeto, requisitos funcionais e não funcionais, análise do domínio e os aspectos da interface visual.

**Capítulo 5:** Ao final da pesquisa, são apresentados os principais achados, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

## 2 PESQUISA OPERACIONAL E TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO

Na gestão, uma das tarefas básica refere-se a tomada de decisões. Segundo Howard e Rorres (2001) o ato de decidir é na verdade escolher ou mesmo de optar entre as alternativas viáveis existentes, as quais também são designadas por curso de ação. Esses processos na maioria das vezes acontecem quando o responsável enfrenta problemas, os quais podem ser excepcionais ou rotineiros.

O processo de decisão é formalizado em uma abordagem quantitativa ou qualitativa, por meio, principalmente, da modelagem matemática, que por intermédio da linguagem matemática, manifesta situações-problema do meio do homem. Contudo, Lins e Calôba (2006, p. 120) mencionam que devido à crescente complexidade dos problemas relacionados a gestão, relacionadas ao desenvolvimento das unidades econômicas, evidencia a necessidade de uma abordagem com base em uma ótica científica, exigindo assim, que seja recorrido aos métodos quantitativos, que segundo o autor “[...] são baseados em um conjunto de variáveis que variam em um domínio específico, enquanto relações quantitativas e causais foram definidas entre essas variáveis.”

Com base nesse contexto, se encaixa a Pesquisa Operacional, que, considerando como sendo uma ciência, estrutura de processos, sugerindo um conjunto de opções de ação, fazendo a previsão e ao mesmo tempo um comparativo de valores, custos e eficiência.

Foi durante a Segunda Guerra Mundial (1939 - 1945) que a pesquisa operacional consolidou-se. Isso aconteceu por causa da necessidade de ajustar as operações executáveis aos novos armamentos desenvolvidos. Howard e Rorres (2001) mencionam que os termos “pesquisa” e “operacional” transmitem respectivamente o ponto de vista de integrar o caráter teórico e aplicado dos métodos de Pesquisa Operacional, podendo nesse caso citar, a Programação Linear.

Lins e Calôba (2006) destacam também que a maioria das aplicações envolve os setores de administração, organização, planejamento e produção.

Complementando esse contexto, Passos (2009, p. 6) afirma que:

Seus fundamentos encontram-se na matemática, na análise de sistemas e na estatística. A ferramenta de resolução, por excelência, é o computador, dado que os problemas reais aos quais as técnicas normalmente se aplicam conduzem à construção de modelos matemáticos de porte médio ou grande, de solução manual muito difícil ou mesmo impraticável.

O autor também destaca que na Pesquisa Operacional, mesmo a Programação Linear sendo considerada um dos campos mais utilizados e desenvolvidos, era há até pouco tempo atrás, de certa forma desconhecido ou pouco disseminado em algumas regiões do país.

Frente a esse contexto, apresenta-se na sequência um pouco da programação linear e seus principais modelos.

## 2.1 PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

É notório o desejo de boas soluções para problemas de otimização, em tempos de grandes concorrências entre empresas. As pesquisas nessa área são intensas, e demonstram que vários autores estudam alguns aspectos desta questão, com a utilização de determinados métodos e melhorados após vários testes e pesquisas. O objetivo é a contínua melhoria e aperfeiçoamento da produtividade em diversos processos em inúmeras áreas.

Otimizar é o ato de escolher a melhor forma de realizar uma tarefa sem violar certas restrições. Otimização é uma atividade cotidiana na vida das pessoas. Em tarefas simples realizadas diariamente, sempre busca-se executá-las da melhor forma possível como menciona Boyd e Vandenberghe (2004).

O conceito de otimização está bem identificado como um mecanismo de análise de decisão complexa, envolvendo a seleção de valores para variáveis, com o simples objetivo de quantificar desempenho e medir a qualidade das decisões. A intenção é encontrar a melhor solução, respeitando, se necessário, com restrições de viabilidade impostas aos parâmetros do problema (GOLDBARG; LUNA, 2005).

O problema de otimização é determinado por várias categorias, muitas vezes de uma complexidade intratável. Para conceber resultados, como uma solução de um problema, torna-se extremamente necessária a aplicação de métodos que variam de acordo com a classificação desejada.

Para Goldbarg e Luna (2005) uma situação crítica se apresenta na construção da interação entre variáveis e restrições, pois o número de soluções possíveis pode ser muito grande. Para tratar esses problemas, é necessária a escolha de técnicas de otimização.

As técnicas aplicadas na resolução dos problemas de otimização são, relativamente específicas para cada tipo de problema, sendo necessário para a escolha da

técnica, primeiramente identificar o tipo de problema que se deseja otimizar. Nesse sentido, observa-se que na literatura são encontrados várias técnicas utilizando métodos de busca para problemas de otimização, alguns exemplos são: Determinísticos, Enumerativos e Estocásticos, como descritos no quadro 2.

**Quadro 2 – Métodos de busca para problemas de otimização**

<b>Métodos Determinísticos</b>	A estrutura desse método tem base em cálculo e faz uso de derivadas ou aproximação destas, e necessitam de alguma informação do gradiente da função, seja procurando o ponto onde ele se anula ou usando a direção para a qual ele aponta. Um conjunto de entradas conhecido a resultará em um único conjunto de saídas
<b>Métodos Estocásticos</b>	Baseado em probabilidade, esses métodos são estratégias estocásticas de simples implementação e entendimento. Utilizam apenas as informações que trabalham com regras de probabilidade contidas na função de otimização, possui uma ou mais variáveis aleatórias como entradas e sua implementação é através da repetição. O resultado é executado inúmeras vezes, buscando o ponto ótimo ou a possível solução ótima. É eficiente quando um grande número de análises do problema é requerido
<b>Métodos Enumerativos</b>	Esse método utiliza uma busca no espaço finito, ou seja, uma busca exaustiva. Sua implementação está na condição de explorar todas as possíveis soluções estipuladas em um universo finito de busca, verificando todos os pontos. Essa técnica, no entanto é inviável com grandes quantidades de variáveis, utilizando de outras técnicas como melhoria. Porém, essa é a técnica mais exata e resulta em uma certeza absoluta de ter obtido a solução ótima, na qual todas as possibilidades são verificadas. Com métodos enumerativos, tem-se certeza de que se alcançou um mínimo ou máximo, mas não se tem certeza se este mínimo ou máximo é global ou local

Fonte: Boyd e Vandenberghe (2004, p. 78)

O processo de Enumeração consiste em:

- Enumeração explícita: Gera e avalia todas as soluções possíveis para obtenção de uma solução ótima.
- Enumeração implícita: Faz uso da pesquisa em árvore, não gera todas as soluções, pois utiliza limites implicitamente avaliadas (ARENALLES *et. al.*; 2007, p. 123).

Os métodos de enumeração tem uma propensão de garantir a solução encontrada, determinando se é ótima somente se chegarem ao final do processo enumerativo. No entanto, é possível encontrar uma boa solução no início da enumeração,

para isso é necessário analisar as informações utilizadas para guiar o processo de enumeração, pois quando mais coerentes forem essas informações, maiores são as chances de se encontrar prematuramente soluções de boa qualidade.

Para resolver problemas de grande dimensão, o uso de métodos de enumeração em problemas dessa natureza torna-se bastante restrito e, muitas vezes intratável computacionalmente. Assim, para garantir uma solução viável é necessário limitar esta enumeração, sendo definidas condições de parada, tais como: limitar o número de iterações realizadas pelo algoritmo; critério de parada do algoritmo se após um número pré-determinado de passos não ocorrer nenhuma melhoria da função custo; determinar um tempo máximo de execução, etc. (PASSOS, 2009).

Desde heurísticas, existem diversos algoritmos que correspondem a métodos Enumerativos, que estabelecem prioridades através de índices, até o envolvimento de programação linear, programação dinâmica, algoritmos de busca local, algoritmos genéticos, *Branch and bound* entre outros.

Vários autores propuseram algoritmo de enumeração para problemas com restrições (ARENALES et. al.; 2007). O tipo a ser utilizado sofrerá variação de acordo com o tipo de problema identificado. Segundo o autor, os problemas de escalas, horários, tarefas e roteamento, encontram-se entre os problemas matemáticos NP-Difícil, ou seja, significa que são executados em tempo polinomial, onde a solução, dependendo da instância do problema, pode não ser encontrada em tempo satisfatório.

Problemas de otimização são constituídos de uma função objetivo e um conjunto de restrições, sendo ambos relacionados às variáveis de decisão. Os valores possíveis às variáveis de decisão são delimitados pelas restrições impostas sobre essas variáveis, formando um conjunto discreto (finito ou não) de soluções factíveis a um problema. O problema pode ser de minimização ou de maximização da função objetivo. Se todas as variáveis do problema pertencerem ao conjunto dos números inteiros, temos uma subclasse da Programação Linear chamada Programação Inteira (PI) ou Programação Linear Inteira (PLI).

## 2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Já há algum tempo vem sendo utilizado a Programação Linear (PL) e a Programação Linear Inteira (PLI), com o propósito de solucionar vários problemas em

diversos campos, dentre eles, de administração, engenharia e economia, sendo essa abordagem feita em disciplinas de Pesquisa Operacional nos cursos dessas áreas.

Martins e Fonseca (2000) lembram que existem diversos programas comerciais que contribuem para que sejam tratados os problemas enfrentados por diversas empresas de vários setores. O autor menciona também que, como ferramenta de planejamento, a aceitação de PL acontece a partir de três fatores principais, que são: “bons algoritmos, entendimento do poder e escopo de PL pelos profissionais, e ampla disponibilidade de *software* confiáveis” (MARTINS; FONSECA, 2000, p. 89).

Segundo Arenales *et. al.* (2007) referem-se a modelos formulados com o foco de, dependendo do que se pretenda alcançar, minimizar ou maximizar, alguma função objetivo, a qual está sujeita a limitações operacionais, restrições financeiras, medidas de risco, dentre outros.

Sobre essa temática, Goldbarg e Luna (2005, p. 415) mencionam que “modelos de PL baseiam-se na premissa de que, ao indicar a análise, o tomador de decisão já conhece as variáveis envolvidas, por exemplo o nível de demanda por seu produto ou serviço.” No entanto, em algumas tomadas de decisão, a informação pode não estar disponível no momento, pois normalmente, a tomada de decisão acontece antecipadamente.

Seguindo essa linha de raciocínio, Arenales *et. al.* (2007, p. 77) afirmam que:

O ideal seria saber o nível real de demanda no momento anterior à aquisição da matéria prima, pois assim seriam evitadas compras em excesso ou falta, facilitando as tarefas de maximizar o retorno com a venda dos itens produzidos, aumentar o nível de serviço ou ainda alcançar outros objetivos.

No entanto, o gerente pode encontrar-se em uma situação que precisará adquirir materiais e gerar bens sem ter de fato o conhecimento da real necessidade das suas mercadorias, que será conhecida somente no ato da venda, quando então será tarde para tomar uma decisão para solucionar o problema.

Nos ambientes competitivos, as decisões são cercadas de incertezas que acabam complicando a aplicação da PL, o qual pode ser utilizado como mecanismo de análise e tomada de decisão, isso porque a PL leva em consideração os dados usados na resolução do problema não sofrerão alteração ao longo do tempo.

Em geral, os problemas que abrangem dúvidas a PL, apresenta resultados sub-ótimo, ou também resultados que impedem a geração de soluções deste tipo (MARTINS; FONSECA, 2000). Para resolver esses casos, podem ser utilizados os problemas lineares

para identificar, separadamente, soluções para cada contexto. Contudo, na maioria das vezes, a solução de um cenário caso a realidade se apresente em outro formato, não apresentará uma viabilidade adequada.

### 2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção é apresentada uma pesquisa, cuja contribuição está relacionada com a do presente trabalho. Os trabalhos que seguem destacam alocação de recursos humanos.

O problema de escalas de trabalho é bastante estudado são vários os autores que propõem uma resolução específica para cada tipo de escala de trabalho, assim como Popova & Morton (1998) que coloca como destaque em sua pesquisa a elaboração de escalas de funcionários que utilizou técnicas estatísticas bayesianas, de programação estocástica e de simulação, já Bianco (1992), preferiu um estudo de escala de trabalho para motoristas de ônibus, onde o objetivo era o controle de início e final de cada turno com intervalo entre dias de trabalho consecutivos o autor referido utilizou programação linear e algoritmo heurístico, enquanto Siqueira (2000), também elaborou um trabalho com a jornadas de trabalho para motoristas e cobradores de ônibus, porém na sua pesquisa a aplicação era um algoritmo com critérios de peso máximo. Por último, Barboza (2003) elaborou uma solução para horários de atendentes designados em uma central telefônica, assim fez uso do modelo de programação linear inteira e do algoritmo para a resolução do problema com peso máximo, respectivamente.

Para os trabalhos seguintes são destacados por serem relacionados inteiramente com a área da saúde, pois tratam do mesmo problema específico.

- a) Artigo: Um Algoritmo Heurístico para otimização do Problema de Escalonamento de Enfermeiro.

Em (CONSTANTINO et al. 2009) é apresentado o problema de escalonamento de enfermeiros que consiste em gerar escalas de trabalho para enfermeiros, considerando as preferências pelos turnos, declaradas através de um custo para cada turno de cada dia da escala. As restrições envolvem regras impostas pela legislação trabalhista e característica desejável em uma escala de um hospital. É proposto um novo algoritmo heurístico baseado na resolução de sucessivos problemas de atribuição. O método trata o problema como um Problema de Atribuição e trabalha em duas fases.

- b) *Development of a Multicriteria Decision Aiding Model for the Allocation of Physicians Working Time.*

Esta tese de doutorado propõe-se a desenvolver uma metodologia de apoio à decisão na alocação de profissionais médicos às diferentes atividades desenvolvidas no contexto do Serviço de Neurologia do Centro Hospitalar de Lisboa. A metodologia compreende um algoritmo para geração de alternativas de alocação e um modelo de afectação de recursos apoiado nos princípios da Análise Multicritério de Apoio à Decisão e na Análise de Portfolio. O modelo foi construído através de uma abordagem sócio-técnica de interação entre um facilitador e o Diretor do Serviço de Neurologia. O desenvolvimento da metodologia baseou-se no programa *MATLAB* para implementação do programa de geração de alternativas, enquanto a construção do modelo multicritério de avaliação foi executada com auxílio do *software M-MACBETH*. Por fim, a análise de portfolio foi desenvolvida com o *software PROBE*. (FERRÃO et al. 2009). O quadro 3 está descrito um comparativo dos trabalhos relacionados.

**Quadro 3 – Comparativo dos trabalhos relacionados.**

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Técnicas Utilizadas</b>
Emanuela Jordânia Marques da Costa	Modelagem matemática e técnica de otimização aplicada em um sistema computacional para o planeamento de escalas na área médica	Modelagem Matemática/Programação Linear
Ademir Aparecido Constantino	Um Algoritmo Heurístico para otimização do Problema de Escalonamento de Enfermeiro.	Algoritmo Heurístico
José Carlos Tavares Santos Neves Ferrão	Development of a Multicriteria Decision Aiding Model for the Allocation of Physicians' Working Time	Algoritmo / Análise Muticritério

Fonte: Elaborado pelo autor

### **3 APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO AO PROBLEMA PROPOSTO**

Este capítulo retrata um estudo conceitual das características da gestão de recursos humanos e o trâmite de paciente em uma Unidade de Atendimento (UA) caracterizando o problema de planejamento alocação de recursos humanos - médicos em uma Unidade de Atendimento, também apresentada à formalização do modelo matemático, bem como sua aplicação para solução nas restrições na escala de médica.

#### **3.1 GESTÃO DE RECURSOS HUMANOS EM SAÚDE**

Atualmente no país, o setor de saúde vive um momento peculiar. No entanto, mesmo com seu alcance social, a implantação de gestão de recursos humanos ainda não foi plenamente alcançada, devido a diversas dificuldades, tanto com relação ao seu financiamento quanto para administração do ciclo operacional.

Tal situação tem refletido nos últimos anos, assim como na utilização de melhorar os recursos existentes e isso inclui recursos humanos. Diante desse contexto, diversas alternativas passam a ser analisada nos modelos de gestão no intuito de terem menos desperdícios e melhorar a qualidade dos serviços disponibilizados a sociedade.

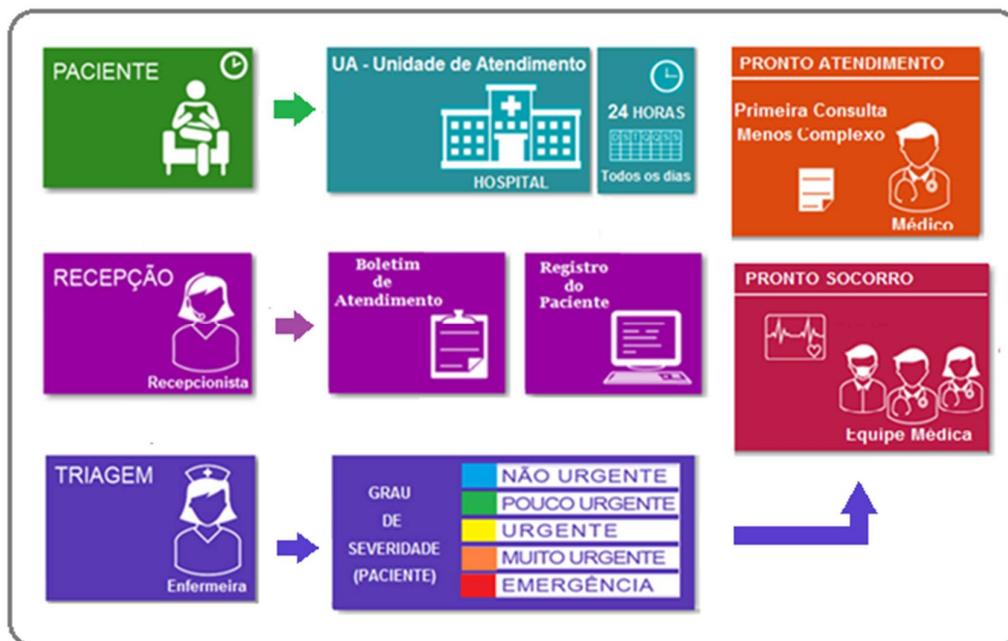
Para uma gestão adequada é necessário um planejamento que consiste em estabelecer como as atividades serão desenvolvidas e os tipos de recursos relacionados. No entanto, a falta de gestão de recursos humanos é pouco abordada entre os problemas que afligem a saúde pública. Diante desse contexto, pode-se dizer que se refere à aplicação de recursos disponíveis, ou seja, finanças, humanos, habilidades, competências, tecnologias, dentre outros, no intuito de alcançar os objetivos almejados para saúde, o qual se refere ao acesso dos serviços de todos os níveis e, sobretudo, com qualidade, tendo como foco a satisfação desejada.

#### **3.2 O FLUXO NO PROCESSO DE ATENDIMENTO DE PACIENTE EM UNIDADE DE ATENDIMENTO**

O funcionamento de uma Unidade de Atendimento (UA) de um Hospital é necessário o período integral, inclusive nos fins de semana. O setor de emergência está dividido nas seguintes áreas: Recepção, Triagem, Pronto Atendimento e Pronto Socorro. A unidade deve está equipada para atender aos usuários da saúde com todas as complexidades, em necessidades de pronto atendimento e qualquer situação de pronto

socorro. Nesse contexto a figura 2 enfatiza o trâmite de um paciente em uma Unidade de Atendimento.

**Figura 2 – Trâmite do Processo de Atendimento de um Paciente.**



Fonte: Ilustração Lindolfo Lessa (2013).

O trâmite do processo de atendimento inicia na recepção com a realização preenchimento do boletim de atendimento e o registro dos dados do paciente no sistema, pelo recepcionista. O segundo momento acontece na triagem do paciente onde é feita uma primeira avaliação do grau de severidade do quadro clínico do paciente por uma enfermeira, o grau de severidade é representado por cores distintas (azul, verde, amarelo, laranja e vermelho) assim o paciente é identificado e encaminhado para o setor do pronto atendimento ou pronto socorro. Os médicos do setor de pronto atendimento realizam a primeira consulta, que envolve situações menos complexas.

O atendimento aos pacientes é realizado em uma das especialidades médica. No pronto socorro, a equipe médica atende exclusivamente as urgências (casos graves) e as emergências (risco de vida). Este setor recebe os pacientes em estado grave que são identificados no processo de triagem. No setor de pronto atendimento há médicos disponíveis em cada uma das seguintes especialidades como: clínica geral, pediatria, ortopedia e clínica cirúrgica. Com elevação da demanda existe um congestionamento da

unidade de emergência e longas filas de espera causando desconforto aos pacientes e pressão sobre a equipe médica.

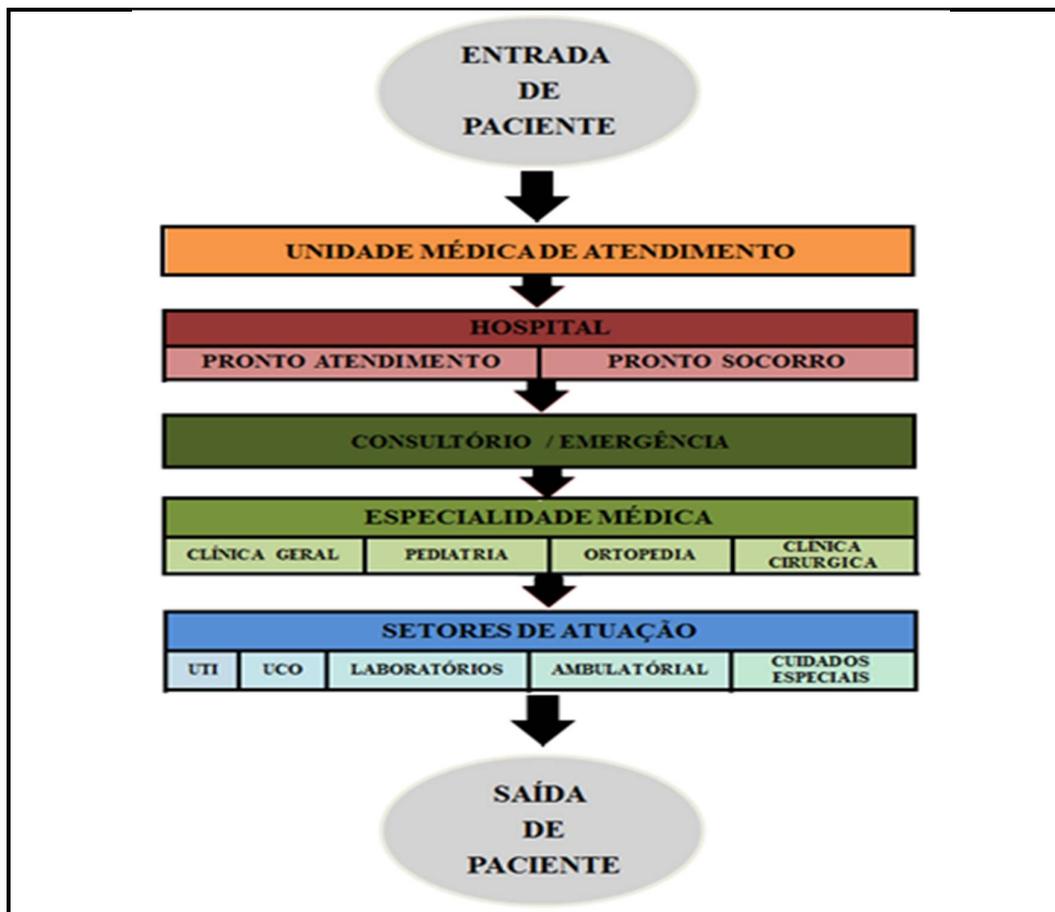
Para atingir seus objetivos, uma Unidade de Atendimento (UA) deve dispor de recursos físicos e recursos financeiros, além de um qualificado patrimônio humano. Esses recursos devem está disponíveis 24 horas todos os dias. Atualmente, são diversas as formas de contratação de recursos humanos que pode variar entre: concursados (servidores públicos) do Ministério da Saúde (Estado e Município) e os cooperativados (bolsistas e terceirizados). Cada contrato tem uma forma específica para contratados isso evidencia as diferenças entre os salários, benefícios trabalhistas, incentivos e carga horária, o que sem dúvida dificulta a gestão de recursos humanos em um hospital.

### 3.3 OS SETORES DE ATUAÇÃO EM UNIDADES DE ATENDIMENTOS

Como visto anteriormente, o objetivo desta pesquisa é auxiliar no planejamento de escalas médica de atendimento com aplicação de um modelo matemático que seja capaz de apoiar a gestão nas principais decisões envolvidas. Respeitando as restrições de disponibilidade de capacidade de atendimento da demanda, custo mínimo de distribuição de escalas médicas.

O problema refere-se em encontrar uma alocação de médicos a uma unidade de atendimento determinado por um determinado período. Todo dia deve ter um número fixo de médicos no plantão da manhã, tarde e noite sendo que médico deve estar dividido em grupo de especialidade, atuando em setores específicos. Quantidade de médico no plantão deve ser proporcional a demanda de paciente para cada unidade de atendimento e que pode ser dividida em setores distribuídos, denominado de setores de atuação. Os setores de atuação são determinados por exemplo, UTI (unidade de tratamento intensivo), UCO (unidade coronariana), laboratórios, cuidados especiais, entre outras. Assim representada pela figura 3.

**Figura 3 – Distribuição dos médicos em uma Unidade de Atendimento.**



Fonte: Elaborado pelo autor

É de grande benefício tanto para médico quanto para unidade de atendimento que a escala seja distribuída nos setores de atuação, de forma que minimize a diferença dos números de horas trabalhadas ao longo de um período (semana, mês ou ano). Grandes fatores que dificulta a obtenção de uma solução boa é que médico pode fazer restrições de dias específicos da semana ou datas especiais em que não deseje trabalhar, além de respeitar as restrições de cada unidade de atendimento (Leis trabalhistas).

#### 3.4 A FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO APLICADO AO PROBLEMA PROPOSTO

O presente trabalho propõe uma formulação matemática específica para problema de alocação de recursos humanos (médicos) em Unidade de Atendimento. A otimização do modelo consiste em três partes:

- Função Objetiva: consiste em uma fórmula para otimização do modelo;

- Variáveis: consiste em quantidades que podem ser alteradas para produzir um valor ideal da função objetivo;
- Restrições: consiste em fórmulas que define as limitações dos valores;

O problema de designação de médicos em Unidade de Atendimento consiste em um problema de programação linear inteira 0-1 com variáveis binárias, fato que a função objetivo e as restrições são funções lineares assumindo valores binários em cada variável  $n$ . Esta seção especifica os procedimentos necessários para encontrar a solução deste problema.

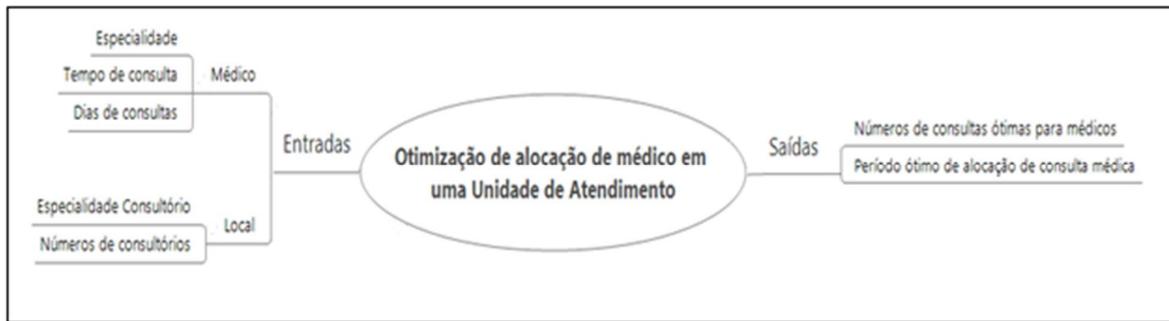
Envolvendo as restrições deste problema garantindo o uso dos parâmetros e variáveis, tais como: quantidade de médico que deve realizar um plantão, quantidades de médicos por especialidades, setores de atuação (UTI, UCO, Laboratórios, Cuidados especiais, etc.), datas que o médico não pode trabalhar (feriados, férias, outro plantão), número de horas que o médico pode realizar ao longo do período contratado e escalas médicas por tipos de especialidades.

A solução para o problema proposto é busca maximizar o número total de restrições que satisfaçam a escolha pessoal de cada médico e as políticas compulsória de cada Unidade de Atendimento (UA), segundo suas disponibilidades de alocação, de forma que a Unidade de Atendimento possa sempre dispor de médicos na quantidade necessária e com as especialidades ideais para todos pacientes. As variáveis de decisão do modelo representam as combinações das alocações em uma unidade de atendimento, por um médico especialista no período estabelecido. O modelo aqui proposto trata da alocação de médicos em Unidade de Atendimento (UA) utilizando a estrutura de programação linear inteira, cuja função objetiva é:

- Otimizar o atendimento na UA;
- Maximizar o custo de alocação;

O modelo proposto consta da programação de especializações de cada médico relacionadas com a demanda de cada unidade de atendimento. A figura 4 representa os dados de Input e Output.

**Figura 4 – Mapa Mental dos Dados de Input e Output**



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A partir das informações de oferta e demanda dos serviços de saúde prestados diariamente associadas às quantidades de Unidade de Atendimento: Hospitais (consultórios), especialidades e escalas médicas, estabeleceu-se o seguinte modelo de programação matemática que servirá de base para construção de um protótipo para visando o desenvolvimento e implementação de um sistema computacional.

$$\text{maximizar } \sum_{t=1}^P \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^E (x_{ihkE_j t_{ik}} + E_{jki})$$

O objetivo é maximizar o número total de atendimentos diários

sujeito a:

$$\sum_{k=1}^P E_{ki} \leq 1; i = 1, \dots, 20 \text{ Cada paciente } i \text{ será atendido por um único médico } k$$

$$\sum_{k=1}^P E_{jk} \leq 1; j = 1, \dots, 15 \text{ Cada médico } k \text{ atenderá uma única especialidade } E_j$$

$$\sum_{j=1}^P E_{ji} \leq 1; i = 1, \dots, 20 \text{ Cada paciente } i \text{ será atendido por um médico da esp. } E_j$$

$$E_{jk} + E_{ji} + E_{ki} \leq 3; i = 1, \dots, 20; j = 1, \dots, 15; k = 1, \dots, 70 \text{ Somente um médico } k \text{ da especialidade } E_j \text{ atenderá o paciente } i$$

$$E_{jki} = \frac{1}{3}(E_{jk} + E_{ji} + E_{ki}) \text{ para todo } i, j, k$$

$$t_{ik} = H_k + \Delta t E_{ijk} \text{ Tempo previsto para o médico } k \text{ da especialidade } E_j \text{ iniciar o atendimento do paciente } i$$

$H_k$ : Hora de início das consultas do médico  $k$

$E_{jk}, E_{ji}, E_{ki} \in \{0, 1\}$

Onde as variáveis de decisão do modelo são denotadas e interpretadas assim:

$$x_{ijkE_jt_{ik}} = \begin{cases} 1, & \text{se o paciente } i \text{ está alocado ao} \\ & \text{hospital } h \text{ para ser atendido} \\ & \text{pelo médico } k \text{ com} \\ & \text{especialidade } E_j \text{ no tempo } t_{ik} \\ 0, & \text{em caso contrário} \end{cases}$$

### 3.4.1 As variáveis do problema de alocação de médico em unidade de atendimento

Para o desenvolvimento de um ambiente computacional para planejamento de alocação de recursos humanos em serviços de atendimento de Unidade de Atendimento (UA), cujo modelo atende um Hospital, que deve envolver um grande número de parâmetros e variáveis para Input tais como:

- Quantidades das Unidades Atendimentos (UA- Hospitais);
- Especialidades de cada UA;
- Quantidades de Médicos por Especialidades;
- Escalas médicas por tipos de especialidades;

### 3.4.2 As restrições do problema de alocação de médico em unidade de atendimento

#### a) Um médico não pode exercer mais de uma especialidade na mesma consulta:

A especialidade é um domínio do conhecimento fragmentado, suas competências técnicas e habilidades em uma área específica do médico visando um tratamento diferenciado para cada paciente. A alocação parcial pode ocorrer para um médico desde que o horário determinado seja diferente. (Cada médico atenderá uma única especialidade em um horário).

#### b) Um médico deve ser alocado somente nas suas especialidades para as quais tem competência:

Essa restrição indica as especialidades que podem ser exercidos por um médico em uma Unidade de Atendimento (UA). A depender do conhecimento, das habilidades e das experiências do médico, este pode desenvolver mais de um tipo de especialidade, desde que estejam relacionadas às suas competências.

#### c) A alocação dos médicos deverá atender à demanda de pacientes de uma unidade de atendimento:

O modelo de alocação deverá respeitar as necessidades dos pacientes. Dessa forma, o modelo deverá garantir que toda a demanda da Unidade de Atendimento (UA) será considerada.

### 3.4.3 Modelo aplicado ao Problema

A formulação proposta e o processamento das funções objetivas, restrições e variáveis de decisão de cada cenário foram desenvolvidas no *software LINGO* versão 13 e testados em um computador Core 2 Duo 1,83 GHz com 2 GB de memória. O modelo matemático descrito para solução utilizou as combinações dos métodos existentes na ferramenta *LINGO* versão 13.

O *LINGO* tem uma enorme capacidade de processar modelos complexos e com uma grande quantidade de restrições. Sua proposta é utilização de conjuntos de objetos, permitindo o agrupamento de objetos similares aplicando métodos de análises sucessivas trabalhando de maneira iterativa e incremental. Em termo geral os conjuntos são definidos como primitivos para este constitui apenas um tipo de elemento que não é capaz de ser desmembrado, já o outro conjunto é denominado como derivado que são elementos formados de subconjuntos de conjuntos primitivos.

Para promover a garantir de uma solução otimizada nos problemas de programação linear, o *LINGO* verifica a formulação matemática e automaticamente seleciona o método mais apropriado, na fase inicial os conjuntos e seus atributos são definidos para que seja possível referenciar o modelo, no caso o problema de alocação de médicos.

A fase seguinte é definida como distribuição, para isso são divididos dois conjuntos o primeiro é tratado como primitivo onde são distribuídos entre Médicos e Unidade de Atendimento, já o segundo denominado como derivado são os subconjuntos dos conjuntos primitivos assim distribuídos como: especialidade, tempo de consulta, dias de consulta, especialidade por consultório e número de consultórios, assim fazendo as combinações possíveis.

A terceira fase é definida como geração, após as combinações é determinado o resultado ou os outputs do problema de alocação de médicos em unidade de atendimentos. O modelo é ilustrado nas figuras 5, 6 e 7 respectivamente.

**Figura 5 – Modelo executado no Lingo**

```

!PROBLEMA DE DESIGNACAO MEDICO;
MODEL:
!CONJUNTOS;
SETS:
  UMA / UNID1, UNID2, UNID3/ : CAPACIDADE;
  PACIENTE / P1, P2, P3, P4/ : DEMANDA;
  MEDICOS ( UMA, PACIENTE ) : QUANTIDADE, PLANTAO;

ENDSETS

! FUNCAO OBJETIVO;
[OBJ] MAX = @SUM ( MEDICOS : QUANTIDADE * PLANTAO );

! Restricoes demandas;
@FOR ( PACIENTE ( J ) : [DIA]
  @SUM ( UMA ( I ) : PLANTAO ( I, J ) ) >=
    DEMANDA ( J );

! RESTRICOES DE FORNECIMENTO;
@FOR ( UMA ( I ) : [MEDICO]
  @SUM ( PACIENTE ( J ) : PLANTAO ( I, J ) ) <=
    CAPACIDADE ( I );

! PARAMETROS;
DATA:
CAPACIDADE = 30, 25, 21 ;

DEMANDA = 15, 17, 22, 12;

QUANTIDADE = 6, 2, 6, 7,
              4, 9, 5, 3,
              8, 8, 1, 5;

ENDDATA
END
  
```

For Help, press F1 | Ln 16, Col 27 | 12:08 pm

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 6 – Resultado do modelo**

Solver Status		Variables	
Model Class:	IP	Total:	12
State:	Global Opt	Nonlinear:	0
Objective:	569	Integers:	0
Infeasibility:	0	Constraints	
Iterations:	6	Total:	8
		Nonlinear:	0
		Nonzeros	
		Total:	36
		Nonlinear:	0
		Generator Memory Used (K)	
		24	
		Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
		00 : 00 : 00	
Update Interval: 2		Interrupt Solver	
		Close	

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 7 – Solução de alocação médico em unidade de atendimento

Solution Report - alocaoMedicoUnidadeAtendimento

Global optimal solution found.  
 Objective value: 569.0000  
 Infeasibilities: 0.000000  
 Total solver iterations: 6

Model Class: LP

Total variables: 12  
 Nonlinear variables: 0  
 Integer variables: 0

Total constraints: 8  
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 36  
 Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
CAPACIDADE ( UNID1)	30.00000	0.000000
CAPACIDADE ( UNID2)	25.00000	0.000000
CAPACIDADE ( UNID3)	21.00000	0.000000
DEMANDA ( P1)	15.00000	0.000000
DEMANDA ( P2)	17.00000	0.000000
DEMANDA ( P3)	22.00000	0.000000
DEMANDA ( P4)	12.00000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID1, P1)	6.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID1, P2)	2.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID1, P3)	6.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID1, P4)	7.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID2, P1)	4.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID2, P2)	9.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID2, P3)	5.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID2, P4)	3.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID3, P1)	9.999999	9.999999
QUANTIDADE ( UNID3, P2)	8.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID3, P3)	1.000000	0.000000
QUANTIDADE ( UNID3, P4)	5.000000	0.000000
PLANTAO ( UNID1, P1)	0.000000	4.000000
PLANTAO ( UNID1, P2)	0.000000	8.000000
PLANTAO ( UNID1, P3)	18.00000	0.000000
PLANTAO ( UNID1, P4)	12.00000	0.000000
PLANTAO ( UNID2, P1)	0.000000	5.000000
PLANTAO ( UNID2, P2)	21.00000	0.000000
PLANTAO ( UNID2, P3)	4.000000	0.000000
PLANTAO ( UNID2, P4)	0.000000	3.000000
PLANTAO ( UNID3, P1)	15.00000	0.000000
PLANTAO ( UNID3, P2)	6.000000	0.000000
PLANTAO ( UNID3, P3)	0.000000	3.000000
PLANTAO ( UNID3, P4)	0.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
OBJ	569.0000	1.000000
DIA ( P1)	0.000000	0.000000
DIA ( P2)	10.00000	0.000000
DIA ( P3)	0.000000	-4.000000
DIA ( P4)	0.000000	-3.000000
MEDICO ( UNID1)	0.000000	10.00000
MEDICO ( UNID2)	0.000000	9.000000
MEDICO ( UNID3)	0.000000	8.000000

Fonte: Elaborada pelo autor

O desenvolvimento do modelo é processado internamente pelo solver do Lingo e influência na resolução, pois utiliza métodos diferentes e apropriado para atender a solução, o tipo de resposta vai depender do relacionamento de cada método utilizado.

Este capítulo apresentou a modelagem matemática para o problema das restrições compulsória e opcional, a qual discrimina a função objetivo e as variáveis do problema de

alocação de médicos em unidade de Atendimento. O problema tem suas características bastante específicas.

## 4 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Para completar o escopo deste trabalho este capítulo apresenta o AlocMed (Sistema de Alocação de Médico), um sistema computacional desenvolvido durante a pesquisa capaz de auxiliar o gestor no planejamento para o escalonamento de equipe médica em uma Unidade de Atendimento.

### 4.1. CARACTERÍSTICA E MODELAGEM DO SISTEMA ALOCMED

O sistema computacional foi desenvolvido na plataforma J2EE, visando facilitar a integração com o software *LINGO* v. 13 que viabiliza a aplicação na modelagem matemática na resolução do problema de escalas para equipe médica em unidades de atendimento na área da saúde. As subseções a seguir são dedicadas a apresentar os artefatos de modelagem, o ambiente de desenvolvimento do projeto (ferramenta utilizada na implementação) e uma visão geral do sistema.

#### 4.1.1 Visão Geral do Projeto AlocMed

O projeto do sistema computacional desenvolvido foi realizado tendo os seguintes pressupostos:

Este ambiente é interativo com o usuário, a interface apresenta em sua parte superior um menu onde é possível cadastrar os médicos, especialidades médicas, unidades de atendimento, turnos de trabalho, as restrições (compulsória e opcional) para dimensionar a equipe de trabalho e gerar as escalas de plantões. É possível configurar parâmetros como: restrições Compulsória e Opcional, uma vez inseridos os valores do sistema devem possibilitar a programação das restrições obedecendo a modelagem matemática uma vez disponibilizados os dados (restrições). O sistema terá a função de gerar um relatório que dará ao gestor administrativo o apoio necessário para escalar médica do plantão.

A utilização do sistema deve permitir a possibilidade de programar as restrições do modelo de alocação de médicos em unidade de atendimento com a utilização do técnicas de otimização. Para análise do sistema computacional foi utilizado paradigma orientado a objeto, linguagem UML. Foi criado o diagrama de casos de uso, que ilustra as funcionalidades essenciais para a realização da alocação e dimensionamento de equipe médica, o diagrama de classes, que descreve os tipos de objetos presentes no sistema, e

o diagrama de sequência de mensagem que representa a sequência de processos mais especificamente, de mensagens passadas entre objetos.

As classes composta na aplicação visa manter os dados necessários para as escalas de plantões médicos. Para implementação as funcionalidades foi utilizada diretamente os recursos da linguagem de programação JAVA EE e para atender as características das restrições à aplicação segue os requisitos não funcionais e funcional:

- **Promover Interfaces Visuais:** Consiste em definir o aspecto visual das telas da aplicação que apresentam o conteúdo ao usuário.
- **Promover Base de Conteúdo:** Consiste em definir a base com as informações que são utilizadas na aplicação.
- **Promover Recursos:** Consiste em definir quais recursos irá auxiliar, além das telas de conteúdo que o usuário utilizará.

#### 4.1.2 Requisitos Não Funcionais

O uso da aplicação em termos de desempenho, usabilidade, confiabilidade, segurança, disponibilidade, manutenibilidade e tecnologias envolvidas.

- Aplicação executada em plataformas WEB.
- O sistema deverá processar um número de requisições por um determinado tempo.
- O sistema deverá ter alta disponibilidade de tempo.
- O sistema deverá se comunicar com o *software* LINGO.
- O sistema deverá atender às normas legais, tais como padrões, leis, etc.

#### 4.1.3 Requisitos Funcionais

O termo funcional define uma função que um sistema deve possuir, uma função é descrita como um conjunto de entradas, seu comportamento e as saídas por meio da informação para o usuário. Nesta seção apresentaram requisitos desejáveis respectivamente para a aplicação do AlocMed. São descritas para atender as facilidades um conjunto desses requisitos:

- Determinar os horários em que cada médico tem disponibilidade para atender;
- Limitar o número de plantão diário e semana de cada médico;
- Minimizar a quantidade de dias de trabalho e descansos de médicos;

- Especificar plantões simultâneos entre dois ou mais horário;
- Adicionar restrições de locais para UA;
- Criar o horário com múltiplo plantão, especificando a hora de início e fim de cada plantão, a duração de cada plantão e também múltiplos intervalos (se aplicável);
- Relatório de plantões montados por médico e por UA.

## 4.2 ANÁLISE DE DOMÍNIO DO SISTEMA

A partir da análise de domínio realizada neste trabalho, foram implementados os diagramas que compõem a modelagem do AlocMed e contêm as classes necessárias para o desenvolvimento das aplicações.

Para facilitar uma melhor compreensão do AlocMed, em função da sua arquitetura modular e da quantidade de classes, a descrição do projeto do sistema foi dividida de acordo com seus diagramas. As próximas seções descrevem os detalhes de cada diagrama, apresentando seus objetivos, casos de uso, diagrama de classe e diagrama de sequência e os principais problemas e soluções utilizadas. A modelagem do sistema foi feita utilizando a linguagem de visualização e especificação UML (*Unified Modeling Language*), essa notação será apresentada para os diagramas.

### 4.2.1 Diagrama de caso de uso

Para representar o cenário que descreve as funcionalidades do sistema e sua interação com o ambiente a figura 4.2 identifica o diagrama de casos de uso específico para estudo do problema.

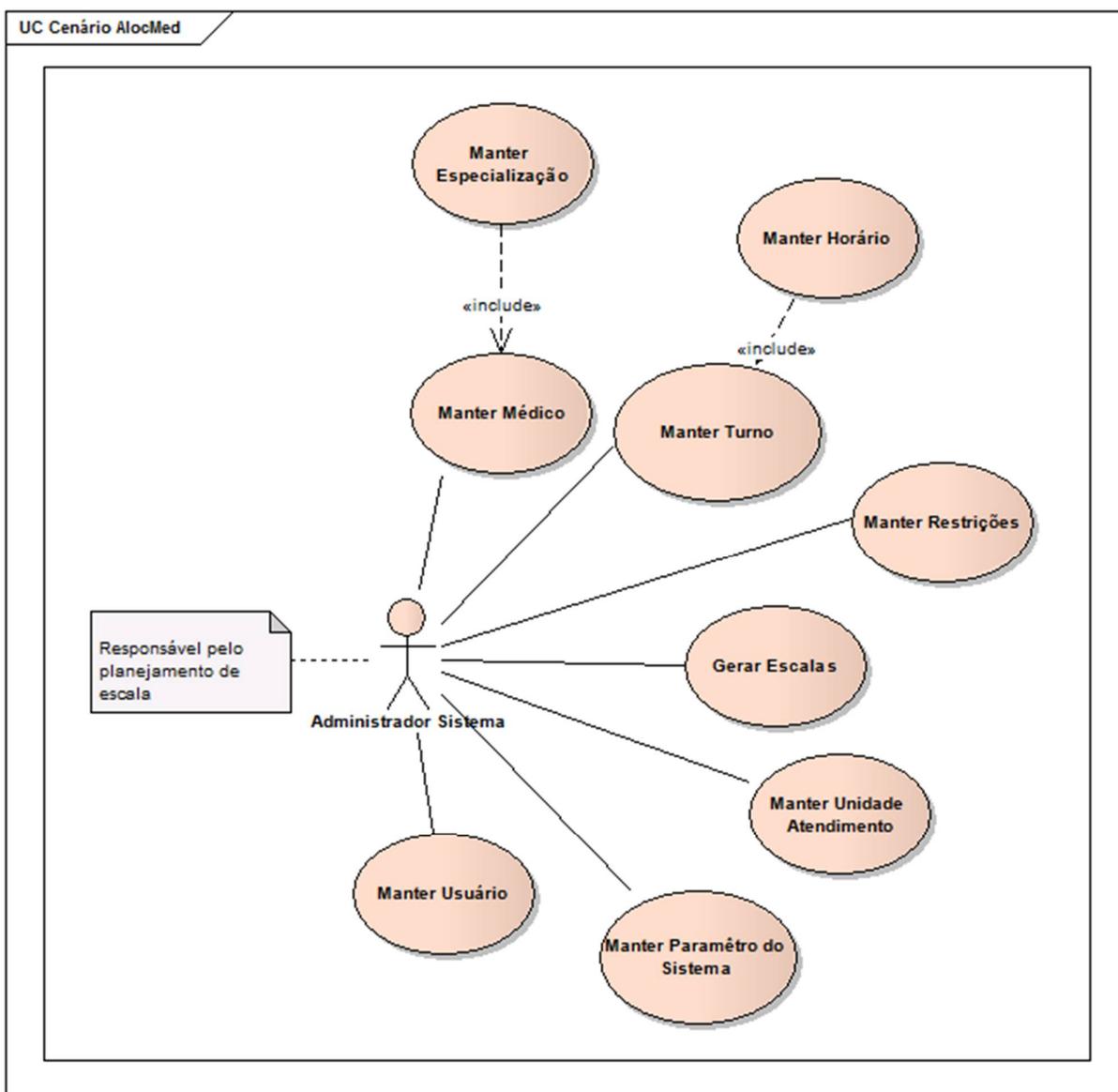
Todos os cadastros devem ser realizados no sistema, os cadastros auxiliares devem ser preenchido previamente são eles: médicos, uma, turno, restrições divididas em compulsória e opcional, através do caso de uso “Manter Restrições” que representa o pressuposto do projeto, pois possibilita a programação das restrições compulsória e opcional, que será acessado mediante aos cadastros anteriores. O último caso de uso acessado pelo usuário é o “Gerar escala”. A seguir detalharemos a função realizada por alguns casos de uso:

- **Manter UA:** Através desse caso de uso o usuário cadastra as unidades médica de atendimento. Os parâmetros nome da unidade e endereço são definidos;

- **Manter Médico:** Através desse caso de uso o usuário cadastra os médicos. Os parâmetros definidos são: nome do médico e dados pessoais;
- **Manter Turno:** Através desse caso de uso o usuário cadastra os turnos de trabalho das unidades médica de atendimento, onde os parâmetros descrição do turno e horário são definidos;
- **Definir Dados da Escala:** Através desse caso de uso, define-se quais turnos, unidades e médico, previamente cadastrados, farão parte de uma escala.
- **Definir Função Objetivo:** Através desse caso de uso, define-se a função objetivo (maximizar atendimento diário ou minimizar custo de alocação);
- **Definir parametro Restricao:** Através desse caso de uso, define-se os parâmetros/restrições;
- **Estabelecer Período:** Através desse caso de uso, define-se o início e término (período) vigente de alocação;
- **Manter Restrições:** Através desse caso de uso o usuário cadastra as restrições do problema, dentre elas Compulsória (leis contratuais) e Opcional (escolha de preferência);
- **Manter Usuário:** Tela para inclusão/exclusão de usuário, o papel de usuário é exercido por administrar todo o sistema que também é responsável por organizar a escala de toda equipe médica.

Complementando esse contexto a figura 8 apresenta o diagrama de caso de uso como pode ser visto para representar cada funcionalidade.

Figura 8 – Diagrama de funcionalidades do Sistema.



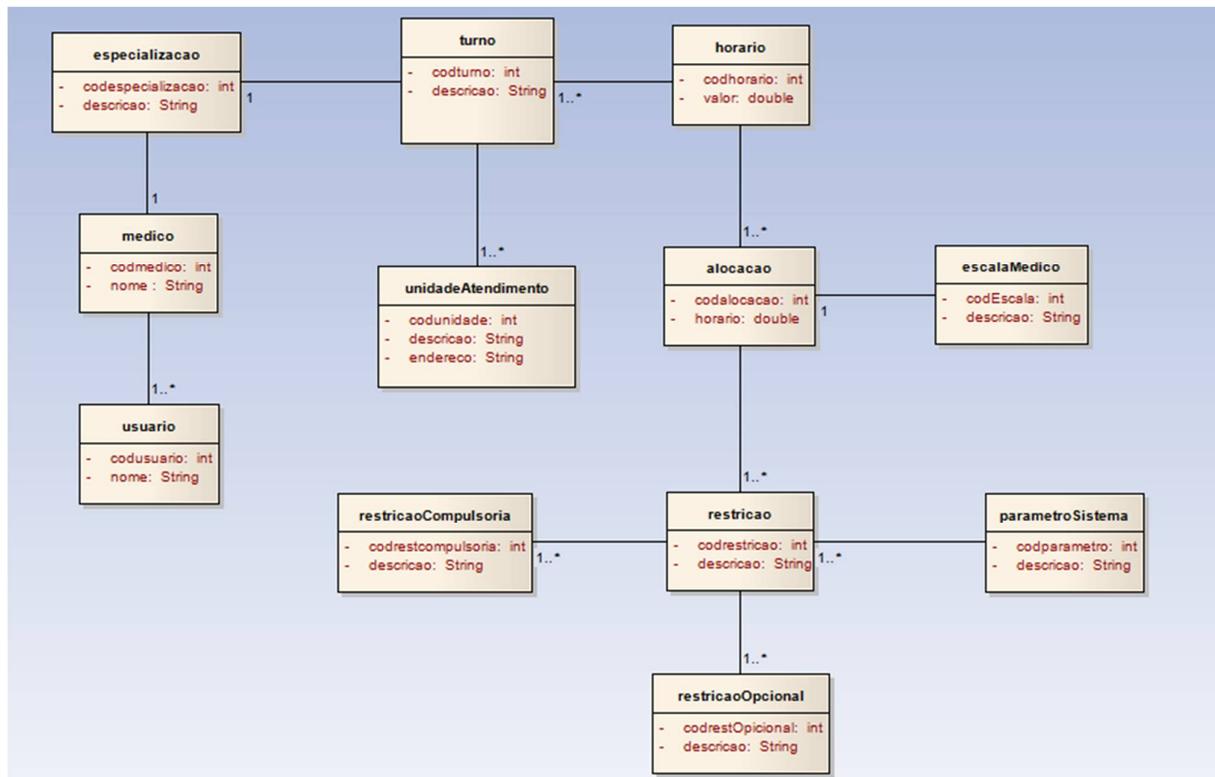
Fonte: Elaborada pelo próprio autor

#### 4.2.2 DIAGRAMA DE CLASSES

São representadas as classes na Figura 9 que compõem o sistema com seus respectivos atributos e métodos, bem como os seus relacionamentos.

Esse diagrama apresenta uma visão estática de como as classes estão organizadas, preocupando-se em definir a estrutura lógica das mesmas.

Figura 9 – Diagrama de classe



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A seguir, é descrita cada classe e o objetivo de cada uma.

- **especializacao:** refere-se a habilitação do médico para exercer a função;
- **medico:** refere-se aos recursos humanos a serem alocados nas escalas. Esta classe armazenam o nome do médico e o número máximo de plantões permitidos à cada médico, respectivamente;
- **usuario:** classe para cadastro de usuário do sistema;
- **turno:** corresponde aos dados de turno do problema. Esta classe possui tipoTurno como um dos seus atributos, que define como o campo turno deverá ser tratado. A função deste campo ficará mais clara na apresentação do próximo diagrama, o diagrama de objetos;
- **unidadeAtendimento:** corresponde aos dados das unidades de atendimento de saúde;
- **horario:** corresponde a hora de atendimento em uma UA;
- **alocacao:** refere-se à visualização da escala e indica se a escala está disponível ou ocupada. Além disso, essa classe possui relacionamento com as classes UA e

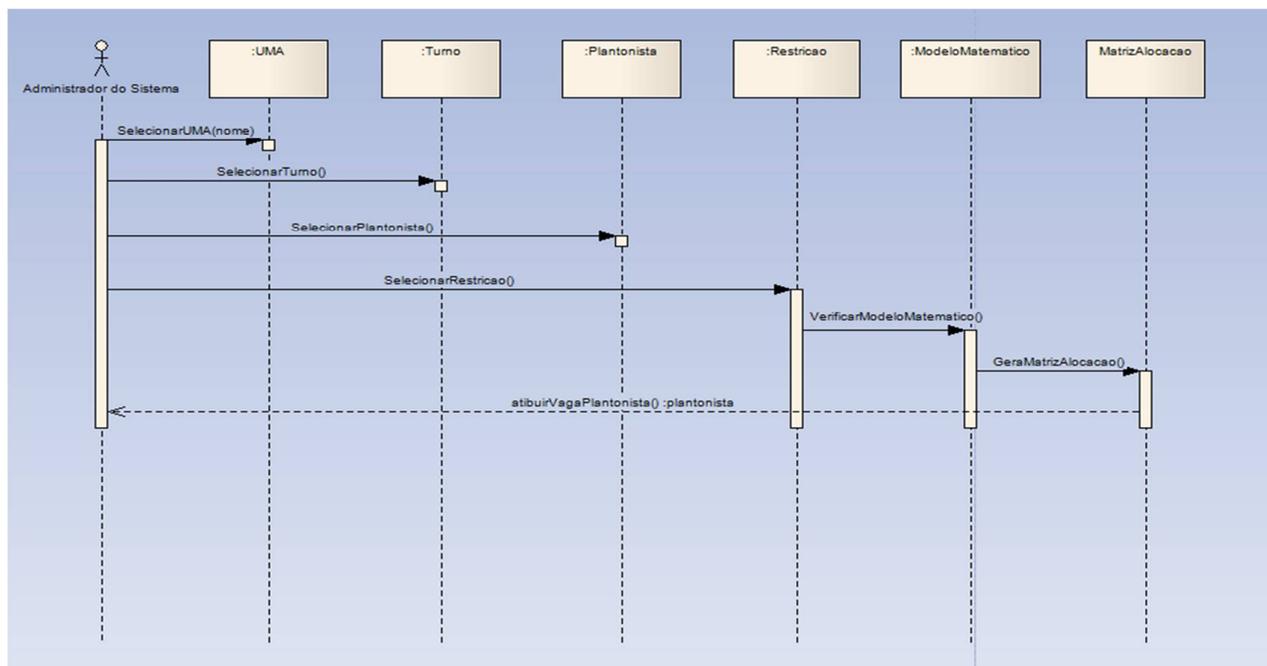
Turno, que indicam à qual unidade e à qual turno tal escala pertence, respectivamente.

- **escalaMedica:** é uma coleção de todas as Escalas envolvidas no problema;
- **restriçãoCompulsória:** modela as restrições compulsória do problema. Essa classe apresenta associações semelhantes à classe Vaga, devido ao fato dessa classe ser a responsável por apresentar as características que as vagas devem atender para definir seus domínios;
- **restriçãoOpcional:** modela as restrições opcional do problema. Essa classe apresenta associações semelhantes à classe Vaga, devido ao fato dessa classe ser a responsável por apresentar as características que as vagas devem atender para definir seus domínios;
- **parametroSistema:** corresponde aos dados das restrições, regras e limitações do sistema;

#### 4.2.4 Diagrama de sequência

O diagrama de sequência procura determinar a sequência de eventos que ocorrem em um determinado processo, ou seja, quais condições devem ser satisfeitas e quais métodos devem ser disparados entre os objetos envolvidos e em que ordem durante um processo específico. Dessa maneira, determinar a ordem em que os eventos ocorrem, as mensagens que são enviadas, os métodos que são chamados e como os objetos interagem entre si dentro de um determinado processo é o objetivo principal deste diagrama. O diagrama de sequência da figura 10 mostra o diagrama de sequência da geração da escala do sistema.

**Figura 10 – Diagrama de Sequência**



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

### 4.3 FERRAMENTAS DE IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção são apresentadas as decisões relacionadas a implementação do protótipo do sistema computacional, como a linguagem de programação escolhida, o servidor de aplicação e o SGBD utilizados. A seguir, cada um desses itens é discutido.

#### 4.3.1 Java

A tecnologia Java é tanto uma linguagem de programação quanto uma plataforma. Essa tecnologia foi desenvolvida pela companhia *Sun Microsystems* (DEITEL, 2005). Na linguagem de programação Java, todo o código fonte é o primeiro escrito em arquivos de texto simples que terminam com a extensão Java. Esses arquivos fonte são compilados em seguida para arquivos .classe através do compilador javac. Um arquivo .classe não contém código que é nativo para o seu processador, em vez disso este contém *bytecodes* - a linguagem da máquina virtual Java (Java VM). A linguagem de programação Java apresenta as seguintes características:

1. Permite o desenvolvimento de sistemas em diferentes sistemas operacionais e arquitetura de hardware, sem que o programador tenha que se preocupar com

detalhes de infra-estrutura. Dessa forma, o programador consegue desempenhar seu trabalho de uma forma mais produtiva e eficiente;

2. Linguagem orientada a objeto, pois foi criada seguindo este paradigma e, devido a isso, traz de forma nativa a possibilidade de o programador usar os conceitos de herança, polimorfismo e encapsulamento;
3. Permite a criação de programas que implementam o conceito *multithread*, incluindo sofisticados mecanismos de sincronização entre processos;
4. Linguagem interpretada, ou seja, após a compilação é gerado um arquivo intermediário (nem texto nem executável) no formato *bytecode*, que poderá ser executado em qualquer arquitetura (Windows, Linux, Mac e Unix) que tenha uma máquina virtual Java instalada. A *linkedição* do programa no formato *bytecode* é realizada no momento de sua execução de forma simples e totalmente gerenciada pela JVM (Java Virtual Machine);
5. Independente de arquitetura, está projetada para dar suporte a sistemas que serão implementados em plataformas heterogêneas (*hardware e software*), como ambiente Unix, Linux e Mainframe. Nesses ambientes, o sistema deve ser capaz de ser executado em diferentes *hardwares*;
6. Linguagem portátil. O que garante a portabilidade dos programas desenvolvidos em Java é a Máquina Virtual Java.

Devido às características acima descritas, que satisfazem os pressupostos do projeto, a linguagem Java foi escolhida como a linguagem de programação.

#### **4.3.2 Tomcat**

O *Tomcat* foi o servidor escolhido para o desenvolvimento deste projeto. O projeto Jakarta Tomcat tem suas origens nos primórdios da tecnologia *servlet* Java, são embutidos em servidores da *web* especiais, chamado *servlet containers* (originalmente chamada de *servletengines*). A *Sun* criou o primeiro *servlet container*, chamado de *Java Web Server*, que introduziu essa tecnologia, mas não era muito robusta. Enquanto isso, a empresa ASF criou o JServ, que foi um *servlet engine* que se integrava com o servidor *web* Apache (BRITAIN, 2003). Em 1999, a *Sun* doou seu código para o *servlet container* ASF, e os dois projetos foram fundidos para criar o servidor Tomcat. Hoje, o Tomcat serve como implementação de referência oficial da *Sun* (RI), que significa que a primeira prioridade do Tomcat é ser totalmente compatível com as especificações *servlete* JSP publicado pela

*Sun*. As páginas JSP são simplesmente uma alternativa, semelhante à forma do HTML, de se escrever *servlets*.

### **4.3.3 Postgres**

O Postgres é um completo sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, de código-fonte aberto, gratuito, que apresenta características como estabilidade e agilidade. Utiliza a linguagem padrão SQL e apresenta alta escalabilidade sendo capaz de lidar com um grande volume de dados, sem que haja comprometimento da integridade, nem do desempenho para a manipulação dos dados. Atualmente é um dos SGBDs mais utilizados na Internet e várias linguagens de programação têm interface com ele. Uma outra vantagem desse SGBD é a sua portabilidade. Existem versões disponíveis deste SGBD para os sistemas operacionais.

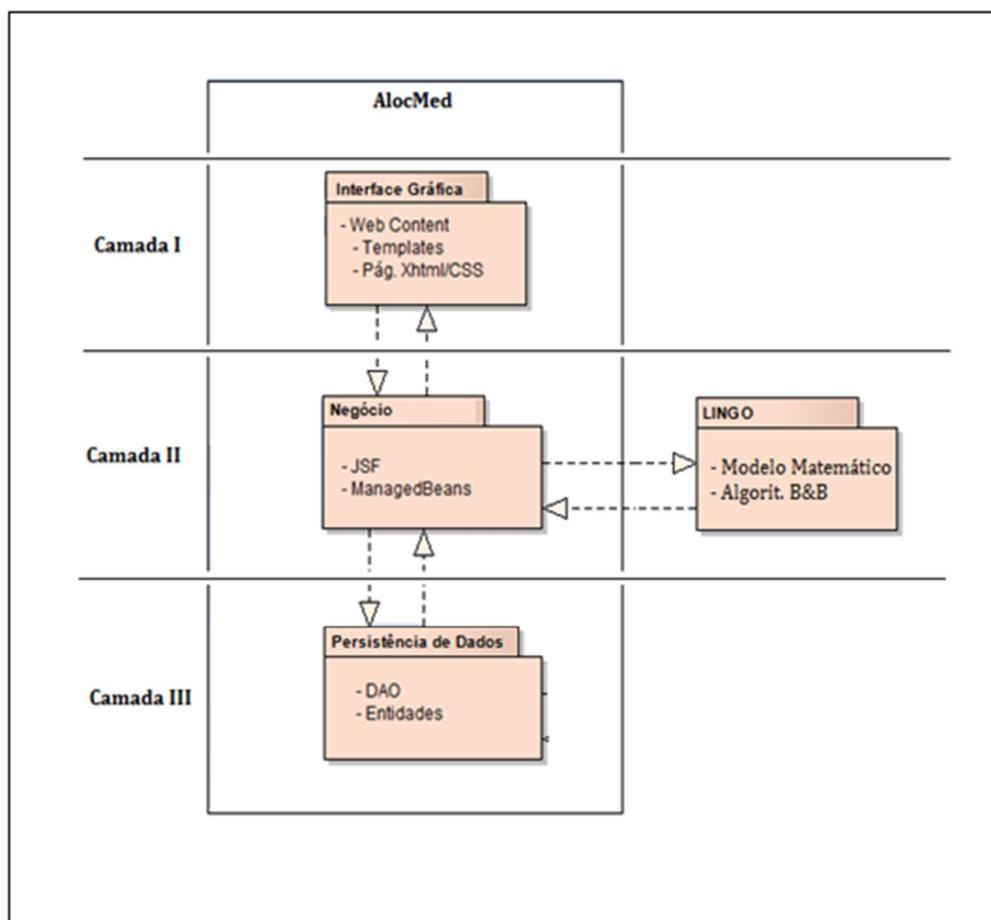
## **4.4 Aspectos da Interface Visual**

Os pressupostos apresentados para o projeto nortearam a implementação para interface visual do sistema. Utilizado JavaServerFaces (JSF), é um framework que consiste em um conjunto de componentes pré-fabricados de IU (interface de usuário) que auxilia a criação de formulário, permite separar a lógica das regras de negócio, navegação e conexão de serviços.

### **4.4.1 Arquitetura do Projeto e Ambiente de Desenvolvimento**

A arquitetura do projeto consiste na definição dos componentes de software, suas propriedades externas, e seus relacionamentos com outros softwares. Será desenvolvida utilizando modelo MVC como padrões arquiteturais e a integração com software LINGO para modelagem das restrições, foi proposta a arquitetura baseada em camadas. A figura 11 apresenta as três camadas do sistema, numa visão lógica.

**Figura 11 – Representa arquitetura Visão Lógica**



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

A primeira camada, ou camada de visão, contém as interfaces gráficas que são utilizadas pelos usuários. Estas interfaces serão executadas em navegadores de Internet e foram desenvolvidas utilizando as seguintes tecnologias: Java, Java Server Faces (JSF) e Richfaces.

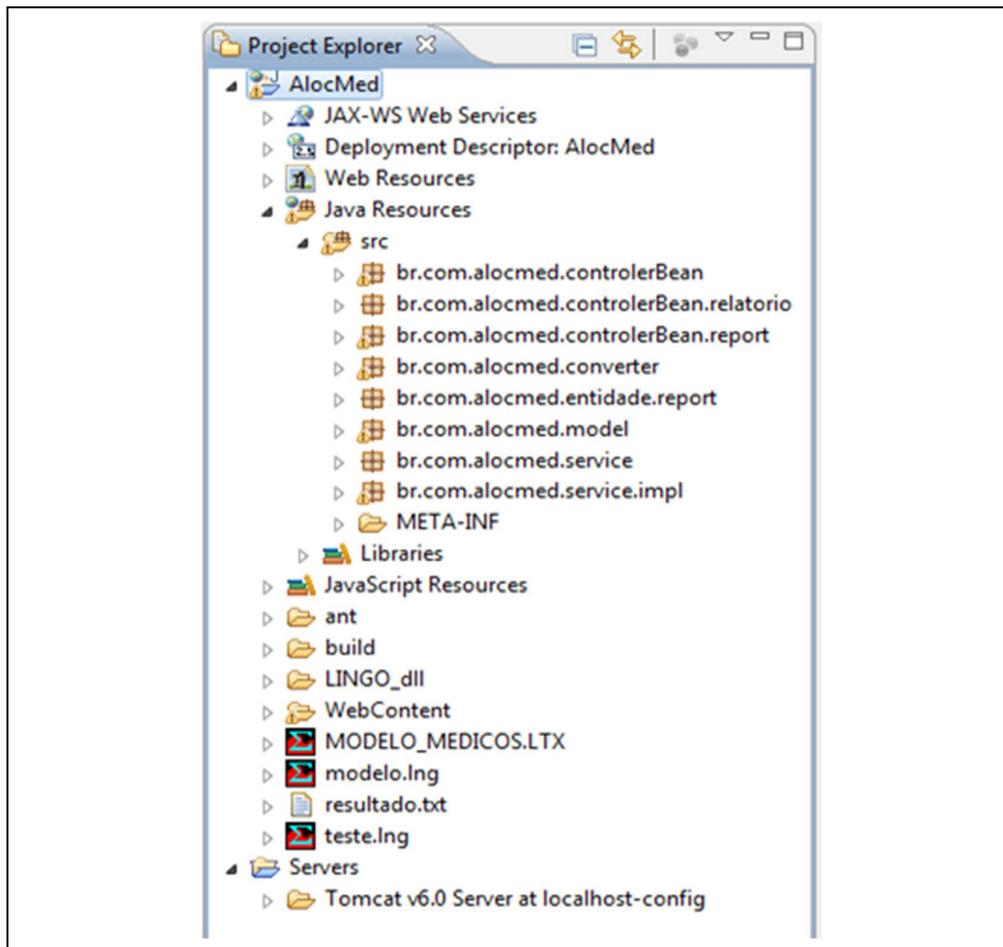
A camada I se comunica diretamente com a camada II, ou camada de negócio, onde todas as regras de negócio do sistema estão implementadas. A camada de negócio do AlocMed que é responsável pela comunicação com o *Lingo* e com a camada de persistência.

A camada de persistência, ou camada III, é onde todos os dados do AlocMed estão armazenados. Ela possui elementos de acesso ao banco de dados, os quais ficam

disponíveis para a segunda camada através de diversos métodos. Nessa camada contém, também, o banco de dados.

A disposição e a ordem das classes da aplicação do projeto foram estruturadas em 8 pacotes conforme representado na figura 12.

**Figura 12 – Representa arquitetura da aplicação utilizada no Projeto.**



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

Visando atender uma necessidade de fácil criação, manutenção e a separação das camadas do aplicativo. Adotou-se como base o padrão de projeto Model-View-Controller (MVC), para a plataforma Java. Os pacotes e suas subdivisões estão detalhados:

- **br.com.alocmed.controlerBean**

Classe responsável pela intermediação e comunicação entre as páginas (componentes JSF) e o modelo. Também tem a responsabilidade de processar e delegar os eventos para camada de negócio.

- **br.com.alocmed.controlerBean.relatorio**

Classe responsável pela emissão dos relatórios.

- **br.com.alocmed.controlerBean.converter**

Implementar a interface Converter que definirá o tipo capaz de converter e será invocada com o valor do parâmetro do request com as mensagens de internacionalização para que você possa retornar uma ConversionException no caso de algum erro de conversão.

- **br.com.alocmed.controlerBean.model**

Classe que contém todos os modelos que serão usados na aplicação.

- **br.com.alocmed.controlerBean.service**

Classes com responsabilidade de implementar os serviços de persistência de dados (CRUD) da aplicação.

- **br.com.alocmed.controlerBean.service.impl**

Classes com responsabilidade de implementação de todos os serviços Web da aplicação.

Neste capítulo foi apresentada aplicação experimental, onde foi descrito a metodologia para implementação do sistema AlocMed e a sua arquitetura estrutural.

## 5 CONCLUSÕES

Este capítulo trata das conclusões e resultados alcançados.

### 5.1 RESULTADOS ALCANÇADOS

A proposta deste trabalho foi desenvolver um sistema de alocação e dimensionamento de escala de plantão médico em uma unidade de atendimento, cabe pontuar que realizar e promover a mudanças de ordem quantitativa e qualitativa na equipe de médicos, em geral, é uma atividade gerencial em que depende de fatores relacionados à equipe e de fatores externos, envolvendo a gestão e tomada de decisão para promover uma boa distribuição e a otimização do atendimento na área de saúde. Dada à complexidade da temática escolhida, foi necessário um estudo sobre técnicas de otimização e os trabalhos relacionados. Para implementação do sistema proposto foi utilizada a plataforma Java, através da IDE Eclipse, juntamente com uma base de dados desenvolvida no SGBD PostgreSQL, Integração com *software* LINGO para modelagem matemática referente as restrições do problema. O objetivo proposto foi atingido.

### 5.2 TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade a este estudo sugere-se uma busca sistemática na literatura para um refinamento visando novas possibilidades a serem abordadas assim como um ajuste de parâmetros a partir de outras técnicas de otimização (meta-heurísticas, redes neurais entre outras) modelando o problema de forma mais completa a considerar problemas de facilidades em uma rede de hospitais, assim prover o atributos de distância, recursos juntamente com aparelhos dos hospitais, pacientes nas proximidades, localização de conveniências: farmácias, escolas, casas de show outras variantes. Conclui-se, pois, que o modelamento do problema, bem como das técnicas adotadas apresentadas nesta dissertação mostraram-se eficazes dentro dos critérios adotados.

## REFERENCIAS

- ADLER, I.; RESENDE, M. G. C.; KARMAKAR, N. “An Implementation of Karmarkar’s algorithm for Linear Programming. *Mathematical Programming*”, v. 44, p.297-335, 1989.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. “**Pesquisa Operacional**”, 6. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ANSTREICHER, K.M.; CHEN, X.; WOLKOWICZ, H.; YUAN, Y. “**Strong duality for atrust-region type relaxation of the quadratic assignment problem**”, *Linear Algebra and its Applications*, 1999. P. 301(1-3), 121-136.
- ANSTREICHER, K.M. “**Eigenvalue bounds versus semi definite relaxations for the quadratic assignment problem**”, *SIAM Journal on Optimization*, 2001, P. 254-265.
- ANSTREICHER, K.M.; BRIXIUS, N.W. “**A new bound for the quadratic assignment problem based on convex quadratic programming. *Mathematical Programming***”, 2001, P. 341-357.
- AZAMBUJA, C.; SILVEIRA F.; GONÇALVES, N. **Disciplinas Matemáticas em cursos superiores**: Reflexões, relatos, propostas. Rio Grande do Sul, RS, 2004.
- BARBOZA, A.O.; CARNIERI, C.; STEINER, M.T.A. SIQUEIRA, P.H. Técnicas da Pesquisa Operacional na Otimização de Atendentes em Centrais Telefônicas. *Gestão e Produção*, v. 10, 2003, p.109-127.
- BASSANEZI, Rodney C. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002.
- BAUER, Christian; KING, Gavin. **Java Persistence with Hibernate**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.
- BIEMBENGUR, Maria Salett; HEIN, Nelson. **Modelagem matemática no ensino**. São Paulo: context, 2000.

BITTAR, O. J. N.V.; MIELDAZIS, E. J. Considerações sobre recursos de saúde, economia e demografia brasileira. **Revista de Administração Pública**, 2012; 26 (3): 107-118.

BLAZEWICZ, J.; ECKER, K. H.; PESCH, E. SCHMIDT, G.; WEGLARZ, J. "**Scheduling Computer and Manufacturing Process - Springer-Verlag**", Berlin, 1996. P. 491.

BOYD, S.; VANDENBERGHE, L. "**Convex Optimization**", Cambridge University Press, March, 2004.

BRASIL. República Federativa do Brasil. **Constituição de 1988**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRAVO, Maria Inês Souza. Desafios atuais do controle social no Sistema Único de Saúde. Serviço Social e Sociedade. **Espaço Público e Controle Social**. 2006.

CORRÊA, R. C.; FROTA, Y. A. M, "**Computational experiments with the column generation approach for finding the chromatic number of a graph**", in Proceedings of Combinatorial Optimization 2002, v.1. p.87, 2002.

CURY, H. N. **Disciplinas matemáticas em cursos superiores**. Porto Alegre: Edipucrs, 2008.

DANTZIG, G. B. "**Programming in a linear structure, comptroller, United States Air Force**", p. 123, 1949.

DEAN, Dale. O que é modelagem matemática? **Educação Matemática em Revista**, n. 9/10, p. 49-57, abr. 2001.

DOMINGUEZ, Benito Narey Ramos. **Programa Saúde da Família: como fazer**. 1998.

FLORENTINO, H.O. "**Relaxação lagrangeana em programação inteira**." USP, São Carlos, p. 89, 1990.

FONSECA, Maria da Conceição F. R. **Educação Matemática de Jovens e Adultos: especificações, desafios e contribuições**. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

GEARY, David; HORSTMANN, Cay. **Core JavaServer Faces**. Prentice-Hal: Alta Books, 2007.

GOMORY, R. E. **Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs**. *Bulletin of the American Math. Society*, New York, v.64, p. 275-278, 1958.

GOLDBARG, M. C., LUNA, H. P. C., “**Otimização combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**”, 2ed, Editora Elsevier, p. 409-423, 2005.

HOUAISS, Antonio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro, RJ: Objetiva, 2001.

HOWARD, A.; RORRES, C. **Álgebra Linear com aplicações**, Bookman, 2001.

JORGE, A.O. **A Gestão Hospitalar sob a Perspectiva da Micropolítica do Trabalho Vivo**. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisão: Modelagem em Excel**. 2º ed.- 0 ed.- Rio de Janeiro: Elsevier, p. 321, 2004.

LINS, M. P. E.; CALÔBA, G. M. **Programação Linear: com aplicação em teoria dos jogos e avaliação de desempenho**, Interciência, 2006.

LISBOA, E. **Pesquisa Operacional**. Disponível em: <http://www.ericolisboa.eng.br> .Rio de Janeiro, 2002. Acessado em: 18/03/2007.

MARTINS, Bruno B. FONSECA, Adelaida P. Algoritmo de simulação para programação e roteirização de frotas de indústrias agroalimentares de pequeno e médio porte utilizando Excel e Sistemas de Informação Geográfica. Panorama Nacional da Pesquisa em

Transportes. **Anais do XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte – ANPET**. Rio de Janeiro, 2000.

MRACK, Marcelo. **Java Server Faces: Um Estudo de Caso**. 2006. Disponível em: <<http://saloon.inf.ufrgs.br/twiki-data/ Disciplinas/CMP167/TF06MarceloMrackJSF/POD-2006-1-TrabalhoFinal-MarceloMrack-ppt-4x1.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2013.

RENDER, B.; STAIR R. M, “**Quantitative Analysis for Management**”,6, Ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1997.

PASSOS, Adão Nascimento dos. **Estudos em Programação Linear**. Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, UNICAMP. 2009.

PIERATONI, C. R. **As reformas do Estado, da saúde e recursos humanos: limites e possibilidades**. Ciências e saúde coletiva, v.6, n2. Rio de Janeiro, 2001.

SANTOS, H. G, “**Formulações e algoritmos para o problema de programação de horários em escolas**”, Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense, 2007.

**Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO)**. Disponível em: <[http://www.sobrapo.org.br/o\\_que\\_e\\_po.php](http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php)>. Acesso em: 03 Maio 2013.

THARA, H.A. “**Integer programming: theory, applications and computations.**”, Academic Press, New York, p. 220, 1975.

TOLENTINO, G., “**Programação Linear Inteira Aplicada ao Aproveitamento do Palhiço da Cana- de-açúcar**”,2007.

\_\_\_\_\_.; VARELLA, T. C.; FRANÇA, T. Recursos humanos e gestão do trabalho em saúde: da teoria à prática. Brasília, **OPAS, 2004**.

## APÊNDICES

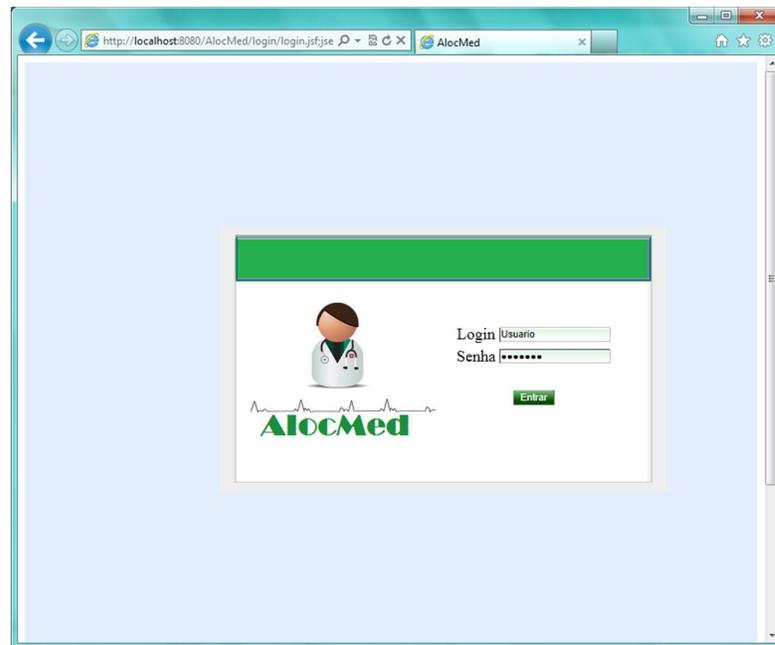
## APÊNDICE A - ALOCMED – SISTEMA DE ALOCAÇÃO DE MÉDICOS

Esta seção descreve o processo de uso para o sistema computacional desenvolvido e denominado de AlocMed, que tem como objetivo principal o planejamento de escalas médicas, desta forma otimizando o processo para um melhor dimensionamento para alocação de médicos em Unidades de Atendimentos. Nesta seção apresentam as principais interfaces do sistema que são ilustradas nas figuras onde é feita uma explanação detalhada e os resultados através dos relatórios.

Para execução do sistema é necessário o preenchimento de informações relevantes, plantão, definição do turno de trabalho, a identificação e localização da Unidade de Atendimento, além de outras funcionalidades como configurações e parametrização etapas que consistem em cadastros principais e auxiliares:

- Um usuário deve previamente inserir os dados e informações para que assim, o sistema possa realizar suas operações. Dentre esses dados destacam-se: os dados das restrições no *Software* LINGO entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) resultados obtidos;
- Acessar a funcionalidade de Configurar e Executar e preencher todos os campos solicitados e salvar a execução Escalas;
- Depois de preencher os dados, os mesmos serão salvos no banco de dados e em seguida configurados e organizados em uma planilha para que o *solver* possa ler esses dados;
- Com as planilhas geradas o LINGO irá executar o modelo orientado a *output* e assim, gerar o as restrições Compulsória e Opcional;
- O sistema computacional irá ler e tratar todos esses dados para então salvá-los no banco de dados concluindo o processo de execução;
- Após a execução das etapas acima descritas são liberadas as funcionalidades para consulta e análise dos relatórios.

A primeira etapa para acessar o sistema, é fazer o login nesta tela conta os dados a serem preenchidos assim como ilustra a figura 13. O Usuário entra com seu login e sua senha para autenticação no sistema.

**Figura 13 – Tela de Login**

Fonte: Elaborado pelo autor

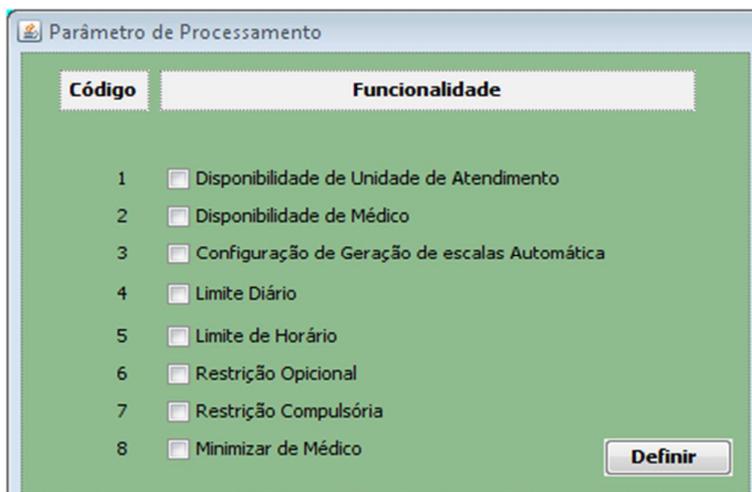
Após Logar no sistema o Menu, encontram-se todas as funcionalidades relacionadas à configuração, execução e resultados, constando: Cadastros, Operações e Relatórios.

**Figura 14 – Menu do Sistema**

Fonte: Elaborado pelo autor

A tela inicial permite o preenchimento dos cadastros que é necessário inserir as informações básicas e a definição de parâmetros do sistema, a etapa de configuração de parâmetro é determinar quais funcionalidades o sistema deve atender.

**Figura 15 – Tela de Parâmetro do Sistema**



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta etapa que consiste em cadastrar a identificação de cada unidade de atendimento e sua localização, conforme a figura 16.

**Figura 16 – Cadastro de Unidade de Atendimento.**



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta etapa Consiste em criar o horário durante um período (semana, mês ou ano) que deve representar os dias em que uma unidade de atendimento funciona (7 dias por semana e 24 horas por dia). A figura 17 ilustra o procedimento.

**Figura 17 – Cadastro de Turno**

	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
07:00							
08:00							
09:00							
10:00							
11:00							
12:00							

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta etapa consiste em cadastrar a especialidade médica, que será escalada em um determinado horário, este é um cadastro auxiliar para cadastro de médico. Conforme a figura 18.

**Figura 18 – Cadastro de Especialidade**

Nome	Editar
Cardiologia	
Clínico Geral	

Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa de Cadastro de médico, sua especialidade e sua disponibilidade durante os dias da semana e o horário para o plantão através da legenda é possível identificar os dias disponíveis, indisponíveis e desejáveis, além de suas folgas (limite diário e semanal). Conforme a figura 19.

**Figura 19 – Cadastro de Médico**



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta etapa consiste em definir as unidade de atendimento suas restrições compulsória, sua disponibilidade e seus horários de funcionamento. Conforme a figura 20.

**Figura 20 – Cadastro de Restrição Opcional**



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa de requisição da Restrição Opcional trata-se da sua especialização e suas respectivas disponibilidades. Conforme figura 21.

**Figura 21 – Restrição Opcinal**

**Modelagem do Problema**

Data Inicio: 01/01/2013      Data Fim: 01/01/2014

**Restições**

Compulsória  
 Opcional

Função Objetivo: Maximizar

**Dias**

- Semana
  - Domingo
  - Segunda
  - Terça
  - Quarta
  - Quinta
  - Sexta
  - Sábado

Gerar Escala

Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 22 – Tela de Escala Gerada por Médico**

**Escala Gerada para Atendimento**

Médico: Paulo Feitosa de Oliveira      Data Início: 04/03/2013  
 Especialidade: Cardiologista      Data Fim: 03/03/2013

Disponibilidade: Manhã

Disponível      Indisponível      Desejável

	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB
07:00	Disponível	Disponível	Desejável	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
08:00	Disponível	Disponível	Desejável	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
09:00	Disponível	Disponível	Desejável	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
10:00	Disponível	Disponível	Desejável	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
11:00	Disponível	Disponível	Desejável	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
12:00	Disponível	Disponível	Desejável	Disponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível

Folgas:

Nº Folgas: 4

Fonte: Elaborado pelo autor

A etapa de Gerar relatório de escalas de médicos cadastrados no sistema em conjunto com suas especialidades e disponibilidade durante os dias da semana e o horário para o plantão através da legenda é possível identificar os dias disponíveis, indisponíveis e desejáveis, além de suas folgas (limite diário e semanal). Ilustração na figura 23.

**Figura 23 – Relatório de Escala de Plantão Médico**

Relatório de Escala de plantão Médico				Data: 06/07/13																							
Médico	HORÁRIO	Esp.	Localização	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18												
Dr. Mario	10:30	Cardiologia	Av. 13 de Ma	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
Dra. Maria	7:00	Pediatria	R. Joao P.	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
Dr. Paulo	10:00	Ginecologia	R. João P.	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
Dra. Ana	FOLGA	----	----	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
Dr. João	9:30	Clinico	R. Bom Jan	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
Dr. Carlos	12:00	Cardiologia	R. Brejo San	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
				7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30

Fonte: Elaborado pelo autor