

## **MESTRADO**

# MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

## **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

### TRABALHO DE PROJETO

CALENDARIZAÇÃO DAS VISITAS DOS ARTISTAS DA  
OPERAÇÃO NARIZ VERMELHO AOS HOSPITAIS

RAQUEL NOGUEIRA NABAIS

AGOSTO – 2019

**MESTRADO EM**  
**MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO**  
**ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

TRABALHO DE PROJETO

CALENDARIZAÇÃO DAS VISITAS DOS ARTISTAS DA  
OPERAÇÃO NARIZ VERMELHO AOS HOSPITAIS

RAQUEL NOGUEIRA NABAIS

**ORIENTAÇÃO:**

PROFESSORA DOUTORA MARGARIDA MARIA GONÇALVES  
VAZ PATO

AGOSTO – 2019

## **Agradecimentos**

---

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, professora doutora Margarida Vaz Pato, por ter aceite orientar-me neste projeto, por toda a disponibilidade demonstrada desde o primeiro dia e por toda a motivação e ajuda dada ao longo deste período. Sei que sem este apoio, não seria possível atingir todos os objetivos alcançados.

Em segundo lugar, quero também agradecer à Operação Nariz Vermelho, nomeadamente à Dr.<sup>a</sup> Susana Ribeiro e à Dr.<sup>a</sup> Flávia Diab por terem possibilitado a execução deste projeto, por toda a disponibilidade demonstrada e por todo o interesse pelo projeto desenvolvido.

Quero também agradecer a todos os meus colegas, que trabalham diariamente comigo, por toda a motivação e pela constante partilha de ideias que em muito ajudaram a execução deste projeto.

Ao João por acreditar sempre em mim, pelo apoio nos momentos de maior tensão, pela constante motivação e por me fazer acreditar nas minhas capacidades.

A todos os meus amigos por compreenderem a minha ausência nestes últimos meses e por todo o apoio dado durante esta fase.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer à minha família por estar sempre presente, por me dar força, motivação e por nunca duvidar de mim.

A todos o meu sincero agradecimento.

## Resumo

---

Este trabalho final de mestrado foi desenvolvido sob a forma de projeto, em parceria com a Operação Nariz Vermelho (ONV), estando o seu tema ligado à afetação dos artistas profissionais, Doutores Palhaços, da ONV às visitas a realizar aos vários hospitais, abrangidos pelo programa de visitas desta instituição, na região da Grande Lisboa.

O objetivo deste projeto é facilitar a execução desta tarefa que, nos tempos que decorrem, é uma tarefa bastante morosa e trabalhosa para os colaboradores da ONV. Assim, e de forma a atingir todos os objetivos pensados pela instituição, foi de extrema importância, numa fase inicial, fazer o levantamento de todas as especificidades da calendarização das visitas.

Depois, e recorrendo a estudos já realizados, foi formulado em Programação Linear Binária Mista um modelo de otimização capaz de gerar uma solução para dar resposta ao problema do planeamento das visitas. Adicionalmente, foi também desenvolvido um programa recorrendo ao uso da linguagem *Visual Basic for Applications* do *Excel*. Este é capaz de ler os dados do problema e colocá-los como parâmetros do *software OpenSolver*, executar o *software* de forma automática, escrever e estruturar a solução gerada com o intuito de possibilitar a análise e o uso desta pelos colaboradores da ONV.

Palavras-Chave: Operação Nariz Vermelho, Problema de afetação, Modelo de Programação Linear Binária Mista, Modelo de Programação por Metas, *Excel*, *OpenSolver*

## Abstract

---

This Masters Final Work was developed in the form of a project in partnership with Operação Nariz Vermelho (ONV). This work is related to the assignment of ONV professional artists, Clown Doctors, to visits to be made to the various hospitals, covered by the visits program of this institution, in region of Lisbon.

The objective of this project is to make easier the execution of this task, which, currently, is a very time consuming and laborious task for the staff of the institution. Thus, and in order to achieve all the objectives considered by the institution, it was extremely important, at an initial stage, to survey all the specific aspects of the visit schedule.

Then, and basing our work on studies previously carried out, an optimization model was formulated using a Mixed Binary Linear Programming model capable of generating a solution to the problem for assignment of the visits. In addition, a program was developed using the *Visual Basic for Applications* language available in *Excel*. This software can read the data of the problem and place them as parameters of the *OpenSolver* software, execute the software automatically, write and structure the generated solution in order to allow the analysis and usage of this solution by ONV employees.

Keywords: Operação Nariz Vermelho, Task assignment, Mixed Binary Linear Programming Model, Goal Programming Model, *Excel*, *OpenSolver*

## Índice

---

|   |     |
|---|-----|
| Agradecimentos.....                                 | i   |
| Resumo.....   | ii  |
| Abstract.....                                       | iii |
| Índice de Figuras.....                              | v   |
| Índice de Tabelas.....                              | v   |
| Lista de Abreviaturas.....                          | vi  |
| 1 Introdução.....                                   | 1   |
| 1.1 Propósitos e Motivação do Projeto.....          | 2   |
| 1.2 Estrutura do Trabalho.....                      | 2   |
| 2 Contexto do Problema Real.....                    | 4   |
| 2.1 A Instituição.....                              | 4   |
| 2.2 “Rir é o melhor remédio?”.....                  | 5   |
| 3 Enquadramento Teórico.....                        | 6   |
| 4 Problema de Calendarização das Visitas.....       | 13  |
| 4.1 Apresentação do Problema.....                   | 13  |
| 4.2 Formulação do Problema.....                     | 16  |
| 4.3 Resolução do Problema.....                      | 25  |
| 4.4 Programa para a Calendarização das Visitas..... | 30  |
| 5 Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros.....   | 36  |
| 6 Bibliografia.....                                 | 38  |
| 7 Anexos.....                                       | 42  |
| 7.1 Anexo 1 – Estrutura do calendário mensal.....   | 42  |
| 7.2 Anexo 2 – Inputs a preencher.....               | 43  |
| 7.3 Anexo 3 – Folha “Modelo Planeamento”.....       | 44  |
| 7.4 Anexo 4 – Botão “Ajuda”.....                    | 45  |

## Índice de Figuras

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Solução obtida pelo <i>OpenSolver</i> .....                             | 28 |
| Figura 2 - Distribuição do número de horas de visitas a realizar por artista ..... | 30 |
| Figura 3 - Menu inicial da aplicação desenvolvida .....                            | 31 |
| Figura 4 - Message box: Criar Calendário.....                                      | 31 |
| Figura 5 - Calendário com o planeamento gerado pelo <i>OpenSolver</i> .....        | 33 |
| Figura 6 - Message box: Validação dos Calendários .....                            | 34 |
| Figura 7 - Folha "Erros" .....   | 34 |
| Figura 8 - Calendário mensal.....  | 42 |
| Figura 9 - Quadro a preencher com as indisponibilidades dos artistas .....         | 43 |
| Figura 10 - Quadro a preencher com os responsáveis por cada hospital.....          | 43 |
| Figura 11 - Exemplo da folha "Modelo planeamento" .....                            | 44 |
| Figura 12 - Output do botão "Ajuda" .....  | 45 |

## Índice de Tabelas

---

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Distribuição das visitas por hospitais .....             | 14 |
| Tabela 2 - Caracterização dos hospitais .....                       | 15 |
| Tabela 3 - Indisponibilidades dos artistas (exemplo utilizado)..... | 27 |
| Tabela 4 - Responsável por cada hospital (exemplo utilizado).....   | 27 |

## **Lista de Abreviaturas**

---

ONV – Operação Nariz Vermelho

PLBM – Programação Linear Binária Mista

VBA – *Visual Basic for Applications*

FO – Função Objetivo

# 1 Introdução

---

As atividades lúdicas têm como objetivo produzir momentos de diversão aos participantes, fazendo com que ocorra uma diminuição dos efeitos de *stress* e, conseqüentemente, um melhoramento do seu estado emocional. Assim, e uma vez que o internamento na área da pediatria é uma realidade, é necessário arranjar formas para ajudar não só as crianças hospitalizadas, mas também os seus familiares a passar por estes momentos mais difíceis.

A Operação Nariz Vermelho (ONV), instituição para a qual foi concebido este projeto, tem como missão levar alegria às crianças hospitalizadas, aos seus familiares e profissionais de saúde, assegurando de forma contínua um programa de visitas de palhaços profissionais aos serviços pediátricos dos hospitais portugueses. Para que tal seja possível, a ONV tem a necessidade de realizar escalas para alocar os seus colaboradores de modo a conseguir cumprir as visitas para com todos os hospitais com os quais tem protocolo, tendo em conta as indisponibilidades e as restrições inerentes a cada instituição e/ou colaborador.

Atualmente, estas escalas estão a ser desenvolvidas manualmente pela instituição e, uma vez que este é um processo muito moroso e trabalhoso, a ONV sentiu a necessidade de encontrar uma solução para colmatar este problema.

Neste contexto, e sabendo que a utilização de métodos computacionais na área da Investigação Operacional tem sido um assunto de pesquisa e desenvolvimento constante, o objetivo deste projeto é desenvolver uma metodologia capaz de gerar uma solução para a calendarização das visitas dos artistas da ONV aos hospitais abrangidos pelo protocolo e, posteriormente, um programa capaz de gerar esta solução de forma automática, através

do uso de um *software* comercial. Este programa é desenvolvido utilizando a linguagem *Visual Basic for Applications* e tem como base um modelo de otimização formulado em programação linear binária mista (PLBM), com implementação no *OpenSolver* [24] (ferramenta do *Excel*).

### **1.1 Propósitos e Motivação do Projeto**

O presente projeto, realizado no âmbito do trabalho final do mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, tem como objetivo a aplicação num caso real dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico na área da Investigação Operacional. É de referir que o mesmo foi elaborado em parceria com a Operação Nariz Vermelho e tem como finalidade o desenvolvimento do calendário bimensal das visitas dos artistas aos vários hospitais abrangidos pelo programa da ONV, na região da Grande Lisboa, aplicando as técnicas e os métodos estudados.

### **1.2 Estrutura do Trabalho**

Neste ponto é apresentada a estrutura do trabalho, concebida para a resolução do problema de planeamento das visitas dos artistas da Operação Nariz Vermelho aos hospitais, descrição da metodologia adotada como proposta de solução do mesmo, bem como, apresentação das conclusões atingidas.

O capítulo 2 encontra-se dividido em dois pontos. No primeiro é feita uma breve apresentação da instituição com a qual foi assumida a parceria para a realização deste trabalho, bem como a referência à missão e aos valores desta que tanto vem contribuindo, no panorama nacional, para o sorriso de crianças em situação de internamento. No segundo ponto, uma vez que o objetivo da instituição está diretamente relacionado com a capacidade de fazer rir as crianças como forma de melhorar o seu estado emocional,

aferiu-se qual a importância do risco como fator para ultrapassar a realidade em que estas se encontram.

No capítulo 3 realiza-se a revisão da literatura com o propósito de decidir qual o tipo de modelo que melhor se adequa ao problema em estudo e qual a melhor metodologia a adotar para solucionar o mesmo.

O capítulo 4 é constituído pela apresentação, formulação e conseqüente proposta de resolução para o problema, com o desenho de um programa para a calendarização das visitas. Na apresentação são detalhadas todas as especificidades do problema para que a formulação do modelo pretendido seja conseguida. Como proposta de resolução avançou-se para a implementação computacional de um modelo de otimização utilizando o *OpenSolver* do *Excel*. Posteriormente, são descritas todas as funcionalidades do programa desenvolvido utilizando a linguagem VBA.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões alcançadas bem como as limitações e as propostas de melhoria para que, no futuro, as principais limitações da metodologia possam ser ultrapassadas.

## **2 Contexto do Problema Real**

---

### **2.1 A Instituição**

A Operação Nariz Vermelho – Associação de Apoio à Criança, fundada por Beatriz Quintella, nasceu a 4 de junho de 2002 [1]. Esta é uma instituição cujo objetivo é “assegurar de forma contínua um programa de intervenção dentro dos serviços pediátricos dos hospitais portugueses, através da visita de palhaços profissionais” [2] com o intuito de “levar alegria à criança hospitalizada, aos seus familiares e profissionais de saúde, através da arte e imagem do Doutor Palhaço” [3]. As visitas ocorrem semanalmente e, em 2018, abrangiam 15 hospitais: Centro de Medicina de Reabilitação de Alcoitão, Centro Hospitalar Gaia-Espinho, Centro Materno Infantil do Norte, Hospital D. Estefânia, Hospital de Braga, Hospital de São João, Hospital Dr. José de Almeida, Hospital Fernando Fonseca, Hospital Garcia de Orta, Hospital Pediátrico de Coimbra - CHUC, Hospital Santa Maria, Hospital Santa Marta, Hospital São Francisco Xavier, IPO de Lisboa e IPO do Porto, sendo que destes 15, nove hospitais se encontram localizados no distrito de Lisboa, quatro no distrito do Porto, um no distrito de Braga e um no distrito de Coimbra [4]. De forma a garantir o bom funcionamento desta iniciativa e a atingir o objetivo geral de “solidificar a presença nos hospitais como instituição indispensável e de referência” [3], a Operação Nariz Vermelho, em 2018, dispunha de 14 profissionais que trabalhavam nos bastidores e de 26 Doutores Palhaços que detinham uma “formação especializada no meio hospitalar” e trabalhavam “em estreita colaboração com os profissionais de saúde, realizando atuações adaptadas a cada criança e a cada situação” [2]. Atualmente, em 2019, a ONV já realiza visitas a mais dois hospitais, Centro Hospitalar Barreiro-Montijo e Unidade Pediátrica de Cuidados Integrados – Casa do Castelo (Porto), e dispõe de 17 profissionais nos bastidores e de 30 Doutores Palhaços.

## 2.2 “Rir é o melhor remédio?”

Em 2010, a instituição desenvolveu um projeto de investigação em parceria com o Centro de Investigação em Educação da Universidade do Minho com o intuito de perceber quais os “efeitos físicos, emocionais, psicossociais e organizacionais da intervenção dos Doutores Palhaços junto das crianças/adolescentes, familiares e profissionais de saúde”. Os resultados deste estudo foram bastante positivos dado que vieram comprovar que as visitas dos artistas profissionais aos hospitais podem ser bastante benéficas junto dos beneficiários mencionados, como se pode verificar nos seguintes pontos [5].

- **“O Olhar da Criança e do Adolescente (A palavra é tua):** damos voz ao “grande chefe”, aquele que é o grande protagonista do trabalho desenvolvido pelos Doutores Palhaços: o paciente pediátrico” [5].
- **“O Olhar dos Pais e/ou Acompanhantes:** os dados recolhidos junto destes pais, revelam, globalmente, a significativa importância atribuída ao trabalho desenvolvido pelos palhaços na promoção do bem-estar do seu filho(a), na qualidade do seu internamento, e em termos das suas representações relativamente ao hospital e aos cuidados de que é alvo durante o seu internamento” [5].
- **“O Olhar dos Profissionais de Saúde:** num contexto de “seriedade”, rotinas, regras e protocolos, a presença dos Doutores Palhaços é frequentemente descrita como “uma lufada de ar fresco”, que i(nte)rrompe o quotidiano hospitalar, abrindo lugar ao jogo, à arte, e à expressão livre do riso e da alegria” [5].

### 3 Enquadramento Teórico

---

Escalonamento corresponde a um problema de tomada de decisão cujo objetivo é alocar as operações aos recursos disponíveis durante um determinado período de tempo, satisfazendo todas as restrições, quer as das operações, quer as dos recursos [11].

Segundo o artigo de 2004 dos autores Ernst, Jiang, Krishnamoorthy e Sier [9], a modelação destes problemas, mais propriamente nos casos de escalonamento de pessoal, está dividida em vários módulos que começam na determinação dos requisitos dos indivíduos e terminam com a especificação do trabalho a ser realizado por cada indivíduo, durante o período de tempo definido. O módulo 1, enunciado neste artigo, pretende determinar o número de indivíduos necessários nos diferentes momentos durante o horizonte temporal definido. Este número de indivíduos é considerado pelos autores como a procura do modelo a formular que pode ser definida segundo três categorias de incidência: procura baseada nas tarefas (*Task based demand*), procura flexível (*Flexible demand*) e procura baseada nos turnos (*Shift based demand*). Na primeira categoria enunciada, *task based demand*, a procura do problema é obtida através do número de tarefas a executar. Nestes casos, as tarefas são definidas pela janela temporal em que devem ser iniciadas e concluídas e, para a afetação destas aos indivíduos, é necessário ter em consideração as habilidades necessárias à execução das mesmas. Este tipo de procura está, geralmente, associado a problemas de transportes onde exista *crew pairing generation* e *crew pairing optimisation*. Os modelos que se enquadram na segunda categoria, *flexible demand*, são modelos onde, por vezes, o número de chegadas e o tempo dos serviços são aleatórios e, como tal, é necessário que estes sejam modelados usando técnicas de previsão. Assim, a procura flexível é muito comum nos problemas de escalonamento em *call centers*. Por último, na terceira categoria, *shift based demand*, a

procura do problema é obtida diretamente da definição do número de funcionários que devem estar ao serviço durante os diferentes turnos, definidos *a priori*. Este tipo de procura está associado, por exemplo, a problemas de escalonamento de enfermeiros ou serviços de ambulância, onde o número de funcionários necessários é determinado pelas diferentes necessidades do serviço durante os vários turnos do dia.

Após identificada a procura do problema, é altura de definir como os dias de descanso se intercalam com os dias de trabalho (módulo 2 – *Days off scheduling*), o número de funcionários necessários para cada turno, tendo em conta a procura do modelo, (módulo 3 – *Shift scheduling*) e definir as linhas de trabalho onde sejam cumpridos os regulamentos legais e os contratos de trabalho para que, por exemplo, não seja afeto a um indivíduo um turno da noite e no dia seguinte um turno da manhã (módulo 4 – *Line of work construction*). De seguida, devem também identificar-se as tarefas a realizar durante cada turno (módulo 5 – *Task assignment*) e, por último, deve alocar-se uma linha de trabalho a cada indivíduo (módulo 6 – *Staff assignment*) [9].

Consoante o tipo de problemas, estes podem ser solucionados através de vários métodos tais como: modelação da procura (*Demand modelling*), abordagens de inteligência artificial (*Artificial intelligence approaches*), programação por restrições (*Constraint programming*), metaheurísticas (*Metaheuristics*) e abordagens de programação matemática (*Mathematical programming approaches*) [9].

A modelação da procura utiliza-se, essencialmente, em problemas onde existe um enorme desafio em conseguir identificar o número de funcionários a alocar aos diferentes turnos, nos quais o número de tarefas não é constante ao longo do dia ou o número de clientes varia. Como exemplo, pode considerar-se um serviço de obstetrícia onde o número de enfermeiros necessários ao longo do dia varia consoante o número de pacientes

que se encontram na enfermaria. Nestes casos, para se conseguir obter uma estimativa do número de funcionários necessários é preciso recorrer a métodos estatísticos ou de previsão [9], [15].

As abordagens de inteligência artificial são também métodos utilizados na resolução de problemas de escalonamento. Este tipo de metodologia baseia-se no desenvolvimento de algoritmos que fornecem uma solução, de preferência, admissível para o problema. O uso deste tipo de metodologia permitiu o desenvolvimento de vários sistemas de suporte à decisão na atribuição de tarefas a indivíduos [9], [16].

A programação por restrições é particularmente útil em problemas com múltiplas restrições e/ou quando encontrar a solução ótima não é uma exigência do estudo, mas sim encontrar apenas uma solução que seja admissível [9], [17].

As metaheurísticas são heurísticas, com características muito variadas, utilizadas para resolver problemas de escalonamento de elevada complexidade, para os quais as heurísticas elementares, tais como as construtivas e melhorativas, determinam soluções de fraca qualidade [9], [21].

Nas abordagens de programação matemática, os problemas de escalonamento são formulados utilizando, por exemplo, a programação linear, a programação linear binária ou a programação linear inteira [9].

Passando para o problema em estudo, no que respeita ao módulo 1, a procura, definida *a priori* pela instituição, enquadra-se no primeiro tipo, *task based demand*, uma vez que o objetivo principal deste projeto é alocar os artistas às várias visitas aos hospitais, consideradas como as tarefas a realizar. Também as etapas realizadas nos módulos 2, 3, 4 e 5 correspondem a escolhas definidas *a priori* pela instituição. Assim, apenas é necessário determinar a alocação dos indivíduos às possíveis linhas de trabalho - tarefas

(módulo 6), o que pode corresponder a um problema de afetação com restrições adicionais e com objetivo “minmax”. Para tal, iremos identificar qual o método mais adequado para a resolução deste problema através da realização de uma pesquisa bibliográfica, do tipo narrativo [25], sobre metodologias adotadas para solucionar problemas semelhantes.

A utilização de métodos computacionais como ferramenta auxiliar para a boa execução destes problemas tem sido um assunto de pesquisa e também de interesse comercial desde os anos 50. Assim, e uma vez que estamos perante uma era de desenvolvimento tecnológico crescente, é de extrema importância para as organizações adaptar os métodos já estudados às novas ferramentas de forma a otimizar o processo de escalonamento, em qualquer tipo de problema, atingindo, conseqüentemente, uma melhor *performance* no seu negócio [10].

Um dos estudos primordiais nesta área foi realizado por Kuhn, em 1955. Kuhn desenvolveu um método computacional, o método Húngaro, com o intuito de afetar um determinado conjunto de indivíduos a um determinado conjunto de tarefas de modo a otimizar as aptidões dos recursos humanos disponíveis (problema de afetação) [12]. No presente, este método é ainda aplicado e é considerado um dos problemas clássicos da Investigação Operacional.

Em 1998, estudou-se o recurso a heurísticas para solucionar o problema de afetação com restrições de um determinado número de trabalhadores a um determinado conjunto de tarefas num escritório de assistência ao condado da Pensilvânia no oeste desta região [14].

Mais tarde, em 2006, Bard e Wan [13] realizaram também um estudo com o propósito de investigar métodos para atribuir as tarefas, de um centro de processamento e distribuição de correios, aos trabalhadores durante o seu turno de trabalho. O objetivo

deste estudo foi desenvolver um cronograma para cada trabalhador de forma a minimizar as transições entre os diferentes postos de trabalho. Para resolver este problema, os autores desenvolveram um modelo em programação matemática. Contudo, e como as instâncias mais realistas do modelo em estudo tinham elevada dimensão, o que impossibilitava o uso de um *software* já desenvolvido, os autores recorreram a outros dois métodos para resolver o problema e encontrar uma solução próxima da ótima: primeiro recorreram a um algoritmo que decompunha o problema em sete problemas diários e, por último, a uma heurística de pesquisa tabu. Através de testes computacionais realizados aos diferentes métodos para instâncias pequenas e grandes e, utilizando como base de comparação a solução obtida da resolução do modelo formulado para uma instância pequena (EXACT) e a solução obtida para uma instância grande utilizando uma heurística *greedy*, foi possível concluir que o EXACT apenas é indicado para instâncias pequenas enquanto o algoritmo que decompõe o problema em sete problemas diários fornece uma solução próxima da solução ótima para instâncias moderadas. O método de pesquisa tabu apenas se torna vantajoso em instâncias relativamente grandes onde não é possível utilizar um dos outros métodos.

Em 2011, Hojati e Patil [18] estudaram heurísticas para solucionar o problema de afetação de tarefas a indivíduos em serviços que empregam funcionários em *part-time* com disponibilidade limitada, como, por exemplo, em restaurantes, *call centers* ou em grandes superfícies de retalho. O objetivo principal deste estudo foi conseguir determinar uma metodologia prática e simples para resolver o problema utilizando, apenas, uma folha de cálculo como o *Excel*. Para tal, os autores definiram *a priori* que as restrições deste problema seriam as mesmas das implementadas na grande maioria dos restaurantes *McDonald's*, ou seja, cada turno durava entre três a oito horas, o número de dias de

trabalho, por semana, para cada colaborador não excedia os cinco dias e os dias não necessitavam de ser atribuídos de forma consecutiva. A fim de encontrarem uma solução para o problema, os autores determinaram, numa primeira fase, os turnos considerados *good shifts* recorrendo à programação linear inteira, o que corresponde à etapa mencionada no módulo 4, *line of work construction*, do artigo [9]. Após a obtenção dos turnos, os autores desenvolveram um modelo para resolver o problema de alocação dos indivíduos aos turnos identificados anteriormente, o que equivale ao módulo 6, *staff assignment*, do artigo [9]. Nesta última fase e dada a dimensão da instância, que impossibilitava o uso de um *software* comercial já desenvolvido para a resolução do problema formulado, os autores recorreram a uma heurística baseada em programação linear inteira. Esta atribuía todos os turnos a um colaborador antes de passar para o próximo. Assim, recorrendo a testes computacionais e gerando vários problemas aleatoriamente, foi possível comprovar, no âmbito da experiência, que o método utilizado era robusto e que fornecia uma solução próxima da ótima. É de salientar que todas as implementações foram desenvolvidas utilizando a linguagem VBA e o *software Solver* do *Excel*.

Em 2014, Mankowska, Meisel e Bierwirth [19] estudaram heurísticas para a resolução de problemas de escalonamento. Neste artigo, os autores recorreram a heurísticas como tentativa de encontrar uma solução para o planeamento diário dos serviços de saúde realizados nas casas dos pacientes, pelos funcionários de uma empresa de assistência domiciliária.

Recentemente, mais precisamente em 2018, Zamorano, Becker e Stolletz [20] estudaram o uso do algoritmo *branch-and-price* para resolver o problema de afetação de tarefas nos balcões de *check-in* dos aeroportos, num curto espaço de tempo, através de

métodos computacionais. O objetivo deste projeto era arranjar um algoritmo capaz de atribuir indivíduos com distintas habilidades a uma sequência de tarefas de realização necessária nos balcões de *check-in*. Assim, recorrendo a testes computacionais e usando dados reais de uma agência alemã de assistência em terra, bem como instâncias semiartificiais, os autores conseguiram concluir que, para o problema em questão, comparada a utilização de um *software* genérico que resolva problemas de programação inteira mista com um *software* baseado num algoritmo de *branch-and-price*, é possível obter melhores resultados utilizando o segundo método quer para instâncias reais quer para instâncias semiartificiais com diferentes turnos e com uma dimensão elevada.

Apesar da grande maioria dos estudos realizados sobre problemas de afetação/escalonamento terem como base problemas complexos e instâncias de grande dimensão e, como tal, em quase todos, o método de resolução utilizado tenha sido baseado em heurísticas, neste trabalho para o problema de calendarização de visitas da ONV, que se conclui ser um problema afetação com restrições adicionais e com objetivo “minmax”, decidiu-se formular um modelo em programação matemática com metas e respetiva implementação em VBA, dada a não elevada dimensão do problema em estudo.

## 4 Problema de Calendarização das Visitas

---

### 4.1 Apresentação do Problema

Atualmente, o planeamento das visitas dos artistas profissionais aos hospitais da região da Grande Lisboa é executado manualmente abrangendo um período de dois meses. A elaboração deste planeamento, devido à sua complexidade, é uma tarefa de difícil execução, propícia a erros e bastante demorada. Assim, e com o intuito de otimizar esta tarefa, o objetivo principal deste trabalho é formular em programação linear binária mista (PLBM) o problema de afetação com restrições, apresentado mais à frente, de forma a obter, através do uso de um *software* comercial, uma solução que funcione como uma sugestão para o calendário bimensal das visitas dos artistas aos hospitais. Para tal, é necessário ter em conta as especificidades do problema real de forma a adaptar o PLBM à realidade.

De dois em dois meses são realizados os calendários das visitas aos hospitais para os dois meses seguintes. Na elaboração é necessário considerar que a cada hospital será atribuída uma dupla de artistas para cada dia de visita, com exceção das quintas-feiras no Hospital D. Estefânia onde serão atribuídos três artistas à visita, dois à visita considerada normal e um à visita a realizar no Bloco Operatório. Esta atribuição não sofrerá alterações significativas durante os dois meses e terá em atenção as indisponibilidades dos dias apresentadas pelos artistas. Ainda assim, após a divulgação do calendário, cada artista poderá solicitar a troca de uma das visitas que lhe foi atribuída com outro artista.

No calendário seguinte, todos os artistas serão reatribuídos, eventualmente, a um novo hospital, tendo em conta as indisponibilidades apresentadas pelos artistas para o período em questão e as restantes restrições.

Posto isto, é essencial conhecer as características dos pontos fulcrais deste problema: os artistas e os hospitais ligados à ONV na Grande Lisboa, uma vez que este trabalho apenas abrange esta área. É de referir que todo o trabalho foi desenvolvido para o contexto da instituição em 2018.

Na região da Grande Lisboa, a ONV já conta com 15 artistas, sendo que um deles apenas realiza visitas às quintas-feiras no Bloco Operatório do Hospital D. Estefânia.

Os hospitais abrangidos pelo programa, descritos na tabela 1, estão classificados em três tipos: grandes, pequenos e minis. Esta classificação, apresentada na tabela 2, está relacionada com a duração da visita da dupla de artistas ao hospital. Assim, um hospital é considerado grande quando a visita ocorre entre as 10h e as 15h, é considerado pequeno quando a visita ocorre entre as 10h e as 13h e é considerado mini quando a visita ocorre entre as 10h e as 12h30m.

As visitas aos hospitais ocorrem às segundas, terças e quintas-feiras estando distribuídas conforme demonstra a tabela 1. Assim, por dia, o número de turnos aos quais os artistas podem ser afetos será igual ao número de hospitais a visitar nesse mesmo dia, tendo sempre em atenção que, por dia, cada artista só pode ser

| Hospitais                      | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> | 5 <sup>a</sup> |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Hospital Santa Maria           | X              |                | X              |
| Hospital D. Estefânia          | X              | X              | X              |
| Hospital S. Francisco Xavier   | X              |                |                |
| IPO Lisboa                     | X              |                | X              |
| Hospital Garcia da Horta       | X              |                |                |
| Hospital de Cascais            |                | X              |                |
| Hospital Amadora Sintra        |                | X              |                |
| CT. Med. Reabilitação Alcoitão |                |                | X              |
| Hospital Santa Marta           |                | X              |                |

Tabela 1 - Distribuição das visitas por hospitais

atribuído a um hospital. Por semana, o ideal será cada artista visitar apenas dois hospitais. Adicionalmente, para cada hospital será designado, *a priori*, um responsável, o qual pode

variar de calendário para calendário. Este responsável deverá ser alocado, sempre que possível, à visita desse hospital.

As visitas são idênticas em todos os hospitais, porém, no Hospital D. Estefânia, ocorrem também visitas ao Bloco Operatório. Estas visitas decorrem uma vez por semana (quinta-feira) e apenas é permitida a entrada, no bloco, de um artista. Dos 15, somente dois artistas (neste trabalho denominados de artista 15, que só realiza visitas ao Bloco Operatório, e de artista 14) estão autorizados a realizar esta visita, sendo esta, idealmente, alternada entre ambos.

| <b>Hospital Grande<br/>(10h – 15h)</b> | <b>Hospital Pequeno<br/>(10h – 13h)</b> | <b>Hospital Mini<br/>(10h – 12h30m)</b> |
|--|---|---|
| Hospital Santa Maria                   | Hospital S. Francisco Xavier            | Hospital Santa Marta                    |
| Hospital D. Estefânia                  | Hospital de Cascais                     |   |
| IPO Lisboa                             |   |   |
| Hospital Garcia da Horta               |   |   |
| Hospital Amadora Sintra                |   |   |
| CT. Med. Reabilitação<br>Alcoitão      |   |   |

Tabela 2 - Caracterização dos hospitais

Após esta caracterização dos artistas e dos hospitais, é também importante entender o principal objetivo da elaboração do calendário. Tendo por base a informação fornecida, a solução ideal para o problema apresentado proporciona um planeamento onde o total de horas de visitas a hospitais de qualquer tipo (grandes, pequenos e minis) é semelhante para cada artista, com exceção do artista 15 que só realiza visitas ao Bloco Operatório, e onde os artistas não trabalham em dias de indisponibilidade.

## 4.2 Formulação do Problema

Uma vez que o objetivo deste trabalho é resolver de forma eficiente o problema de afetação de tarefas (visitas semanais aos hospitais) a um grupo de profissionais heterogêneo (artistas), pretende-se formular, como já foi referido anteriormente, um problema de otimização. Este problema, através de cada uma das suas soluções, apresenta uma sugestão de planeamento para as visitas aos hospitais durante nove semanas (de forma a apresentar um calendário bimensal) e tem em conta as indisponibilidades de cada artista. Para além do referido, este problema tem também em conta que apenas se realizam visitas num certo número de dias por semana, conforme distribuição apresentada anteriormente na tabela 1, perfazendo um total de 27 dias a planear (três dias da semana a multiplicar pelas nove semanas) e que cada hospital, por dia, com exceção do Hospital D. Estefânia, recebe uma dupla de artistas. O Hospital D. Estefânia recebe, todas as quintas-feiras, a visita de três artistas e nos restantes dias recebe uma dupla de artistas. É de referir que as visitas realizadas todas as quintas-feiras neste hospital são compostas pela visita considerada normal, visita que ocorre em todos os hospitais, e uma visita ao Bloco Operatório. Esta última é realizada, apenas, por um dos artistas 14 e 15 e a atribuição destes à visita deve ser feita de forma alternada. Adicionalmente, para cada hospital é nomeado *a priori* um responsável, o qual, idealmente, realiza todas as visitas a esse mesmo hospital.

Satisfazendo, sempre que possível, todas as restrições mencionadas anteriormente, este problema tenta garantir a equidade no número total de horas de visita a realizar por cada artista (excluindo o artista 15 que só realiza visitas ao bloco), a qualquer tipo de hospital - grandes, pequenos ou minis, mas também procura ter em consideração as indisponibilidades dos artistas.

Assim, a formulação do problema em estudo pode ser estruturada conforme apresentado nos pontos seguintes.

**Objetivo:** Determinar um calendário para nove semanas que satisfaça todas as restrições consideradas *hard* e “o mais possível” as restrições consideradas *soft*, onde se tenta garantir um equilíbrio no número total de horas de visita a realizar pelos diferentes artistas e onde se minimizam as violações das indisponibilidades dos artistas.

**Restrições *hard*** - Restrições que devem ser obrigatoriamente satisfeitas:

- Cada artista, por dia, só pode realizar a visita a um hospital;
- Cada hospital, com a exceção do Hospital D. Estefânia (hospital 2), por dia, recebe uma dupla de artistas, tendo em conta a distribuição de visitas apresentada na tabela 1;
- O hospital 2, por dia, recebe uma dupla de artistas com exceção das quintas-feiras. Neste dia da semana, as visitas ao hospital são efetuadas por três artistas, sendo que um deles está apenas responsável pela visita ao Bloco Operatório;
- No hospital 2, às quintas-feiras, as visitas ao Bloco Operatório apenas podem ser realizadas pelos artistas 14 e 15;
- O artista 15 só pode ser considerado para as visitas ao Bloco Operatório no hospital 2.

**Restrições soft** – Restrições que devem ser satisfeitas quando é possível:

- Cada artista, idealmente, realiza visitas duas vezes por semana;
- Idealmente, todas as quintas-feiras, no hospital 2, as visitas ao Bloco Operatório são alternadas entre os artistas 14 e 15, durante o período de escalonamento;
- Garantir, sempre que possível, que o artista responsável pelo hospital  $h$  é selecionado para as visitas desse hospital.

Utilizando esta informação na construção dos modelos definiram-se, em primeiro lugar, os seguintes conjuntos, índices, parâmetros e variáveis:

**Conjuntos e Índices:**

$H$  - Conjunto de hospitais abrangidos pelo programa,  $h \in H = \{1, \dots, 9\}$

$H_g$  - Conjunto de hospitais considerados grandes,  $H_g \subseteq H$

$H_p$  - Conjunto de hospitais considerados pequenos,  $H_p \subseteq H$

$H_m$  - Conjunto de hospitais considerados minis,  $H_m \subseteq H$

$H^1$  - Conjunto de hospitais com visitas uma vez por semana,  $H^1 \subseteq H$

$H^2$  - Conjunto de hospitais com visitas duas vezes por semana,  $H^2 \subseteq H$

$H^3$  - Conjunto de hospitais com visitas três vezes por semana,  $H^3 \subseteq H$

$I^A$  - Conjunto de todos os artistas disponíveis,  $i \in I^A = \{1, \dots, 15\}$

$I$  - Conjunto de artistas que realizam as visitas consideradas normais,  $I = \{1, \dots, 14\} \subset I^A$

$IBloco$  - Conjunto de artistas que realizam visitas ao Bloco Operatório,  $IBloco = \{14, 15\} \subset I^A$

$W$  - Conjunto de semanas do período de planeamento,  $w \in W = \{1, \dots, 9\}$

$D$  - Conjunto de dias do período de planeamento,  $d \in D = \{1, \dots, 27\}$

$D^w$  - Conjunto de dias da semana  $w$ ,  $D^w \subset D$

$D_{Qui}$  - Conjunto de quintas-feiras do período de planeamento,  $D_{Qui} = \{d \in$

$D : d = 3w, \forall w \in W\}$

$D_h$  - Conjunto de dias onde se realizam visitas no hospital  $h$ ,  $D_h \subset D$

$k$  - Índice de parâmetro da função objetivo,  $k \in \{1, \dots, 5\}$

### **Parâmetros:**

$T_h$  - tempo da visita a realizar no hospital  $h$

$c_{ih}^d = \begin{cases} 1 & \text{se o artista } i \text{ não pretender realizar a visita ao hospital } h \text{ no dia } d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

$\lambda_k$  - parâmetro que garante que os termos da função objetivo têm valores adequados à sua importância

$r_{ih} = \begin{cases} 1 & \text{se o artista } i \text{ for nomeado responsável do hospital } h \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

### **Variáveis de decisão e auxiliar:**

$x_{ih}^d = \begin{cases} 1 & \text{se o artista } i \text{ for atribuído ao hospital } h \text{ no dia } d \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

$\delta$  - variável auxiliar para garantir equilíbrio no número total de horas de visita a realizar pelos diferentes artistas

### **Variáveis de metas:**

$d_{iw}^+$  - dias que superam os dois dias de trabalho por semana

$d_{iw2}^+$  - igual a 1 quando a restrição de alternância da semana  $w$  para  $w+1$  na alocação do artista  $i$  à visita ao bloco do hospital 2 não é atingida, ou seja, quando o artista  $i$  vai duas semanas consecutivas à visita ao bloco do hospital 2; igual a zero nos restantes casos.

$d_{ih}^{R-}$  - número de visitas em que o artista  $i$ , responsável pelo hospital  $h$ , foi obrigatoriamente substituído por outro colega

Por último, formularam-se três modelos matemáticos de otimização desenvolvidos para o problema de calendarização das visitas. Estes modelos foram delineados para o problema em estudo, mas são apresentados com alguma generalidade para possível adaptação a outras situações similares.

É de referir que nos dois primeiros modelos, denominados de modelo original biobjetivo e uni objetivo, que apenas diferem entre si na formulação dos objetivos, todas as restrições foram consideradas *hard*. No último modelo, denominado de modelo de metas, já foi tida em consideração a distinção entre as restrições *soft* e as *hard*, através da utilização da programação por metas.

**Modelo Original biobjetivo:**

$$A_i = \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_g} T_h x_{ih}^d + \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_p} T_h x_{ih}^d + \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_m} T_h x_{ih}^d \quad \forall i \in I$$

$$\text{Min } z^1 = \text{Max}_{i \in I} A_i \quad (1)$$

$$\text{Min } z^2 = \sum_{i=1}^{|I^A|} \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{d=1}^{|D|} c_{ih}^d x_{ih}^d \quad (2)$$

$$\text{s.a } \left\{ \begin{array}{ll} \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{d \in D^w} x_{ih}^d \leq 2 & \forall i \in I, w \in W \quad (3) \\ \sum_{h=1}^{|H|} x_{ih}^d \leq 1 & \forall i \in I^A, d \in D \quad (4) \\ \sum_{i=1}^{|I|} x_{ih}^d = 2 & \forall d \in D_h, h \in H \setminus \{2\} \quad (5) \\ \sum_{i=1}^{|I|} x_{i2}^d = 2 & \forall d \in D_2 \setminus D_{Qui} \quad (6) \\ \sum_{i=1}^{|I^A|} x_{i2}^d = 3 & \forall d \in D_{Qui} \quad (7) \\ \sum_{i \in IBloco} x_{i2}^d = 1 & \forall d \in D_{Qui} \quad (8) \\ x_{i2}^{3w} + x_{i2}^{3(w+1)} \leq 1 & \forall i \in IBloco, w = 1, \dots, 8 \quad (9) \\ \sum_{d \in D_h} x_{ih}^d = 9r_{ih} & \forall i \in I, h \in H^1 : r_{ih} = 1 \quad (10) \\ \sum_{d \in D_h} x_{ih}^d \geq 18r_{ih} & \forall i \in I, h \in H^2 \cup H^3 : r_{ih} = 1 \quad (11) \\ x_{ih}^d \in \{0,1\} & \forall i \in I^A, h \in H, d \in D \quad (12) \end{array} \right.$$

Este modelo biobjetivo apresenta duas funções objetivo distintas [23] e é não linear pela função objetivo (FO) de maximização (1). Representando por  $A_i$  o tempo total de visitas, para as nove semanas, a realizar pelo artista  $i$ , a FO (1) destina-se a contabilizar o máximo dos tempos de visita realizados pelos artistas considerando qualquer tipo de hospital (mini, pequeno ou grande) de forma a garantir um equilíbrio no trabalho a realizar entre todos os artistas. Já a segunda, (2), procura, através do objetivo de minimização, assegurar que os artistas não são seleccionados para realizar a visita num dia em que não se encontram disponíveis.

Pelas restrições (3) garante-se que todos os artistas realizam visitas, no máximo, duas vezes por semana. Pelas (4) garante-se que todos os artistas por dia, só visitam, no máximo, um hospital. Pelas (5) garante-se que cada hospital, com exceção do Hospital D. Estefânia (hospital 2), por dia recebe uma dupla de artistas. As restrições (6) e (7) dizem ambas respeito ao hospital 2. As primeiras, (6), visam garantir que este hospital, para todos os dias, com exceção da quinta-feira, é visitado por uma dupla de artistas. Já as segundas, (7), têm como objetivo garantir que, todas as quintas-feiras, o hospital 2 recebe não só a dupla de artistas que realiza as visitas consideradas normais, mas também recebe um outro artista para realizar a visita ao Bloco Operatório. As restrições (8) e (9) estão relacionadas com as visitas que ocorrem todas as quintas-feiras no Bloco Operatório no hospital 2. É de mencionar que os artistas participantes nesta visita são os artistas 14 e 15, sendo que este último artista apenas realiza este tipo de visita. No primeiro grupo de restrições, (8), garante-se que, por semana, apenas um destes dois artistas realiza a visita ao Bloco Operatório e no segundo grupo, (9), garante-se que estas visitas são alternadas entre ambos. Para além disto, este último grupo de restrições também impede a atribuição do artista 14 à visita considerada normal no hospital 2 às quintas-feiras.

Seguidamente, apresentam-se as restrições que têm como objetivo garantir que o artista responsável pelo hospital  $h$  é selecionado para todas as visitas realizadas nesse hospital durante o planeamento, restrições (10) e (11). É de referir que esta condição só é possível para os hospitais onde as visitas são realizadas uma ou duas vezes por semana. Quando as mesmas ocorrem três vezes por semana, apenas se pode garantir que o responsável é alocado a duas das três visitas a esse hospital, pois, as restrições (3) impedem a realização de três visitas por semana.

Por fim, nas restrições (12) é definido o domínio das variáveis.

**Modelo Original uni objetivo:**

$$\text{Min } z = \lambda_1 \delta + \lambda_2 \sum_{i=1}^{|I^A|} \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{d=1}^{|D|} c_{ih}^d x_{ih}^d \quad (13)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_g} T_h x_{ih}^d + \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_p} T_h x_{ih}^d + \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_m} T_h x_{ih}^d \leq \delta \quad \forall i \in I \end{array} \right\} \quad (14)$$

s.a  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Restrições (3) a (12)} \end{array} \right.$

$$\left. \begin{array}{l} \delta \in \mathbb{R} \end{array} \right\} \quad (15)$$

onde  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são reais não negativos.

Este modelo de PLBM apenas difere do anterior na formulação da função objetivo pois, tem apenas um objetivo. Neste, as duas funções objetivo do modelo anteriormente descrito foram consideradas numa única função objetivo (13) e acrescentam-se as restrições (14) e (15). Esta alteração foi necessária, pois o método escolhido para a obtenção da solução para o problema em estudo utiliza um algoritmo do *software Solver* do *Excel* que gera soluções para problemas (lineares binários) uni objetivo.

**Modelo de Metas:**

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \lambda_1 \delta + \lambda_2 \sum_{i=1}^{|I^A|} \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{d=1}^{|D|} c_{ih}^d x_{ih}^d + \lambda_3 \sum_{i=1}^{|I|} \sum_{w=1}^{|W|} d_{iw}^+ + \lambda_4 \sum_{i \in IBloco} \sum_{w=1}^8 d_{iw2}^+ + \\ & \lambda_5 \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{i \in I : r_{ih}=1} d_{ih}^{R-} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_g} T_h x_{ih}^d + \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_p} T_h x_{ih}^d + \sum_{d=1}^{|D|} \sum_{h \in H_m} T_h x_{ih}^d \leq \delta \quad \forall i \in I \quad (14) \\ & \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{d \in D^w} x_{ih}^d - d_{iw}^+ \leq 2 \quad \forall i \in I, w \in W \quad (17) \\ & \text{Restrições (4) a (8)} \\ \text{s.a } & x_{i2}^{3w} + x_{i2}^{3(w+1)} - d_{iw2}^+ \leq 1 \quad \forall i \in IBloco, w = 1, \dots, 8 \quad (18) \\ & \sum_{d \in D_h} x_{ih}^d + d_{ih}^{R-} = 9r_{ih} \quad \forall i \in I, h \in H^1 : r_{ih} = 1 \quad (19) \\ & \sum_{d \in D_h} x_{ih}^d + d_{ih}^{R-} \geq 18r_{ih} \quad \forall i \in I, h \in H^2 \cup H^3 : r_{ih} = 1 \quad (20) \\ & x_{ih}^d \in \{0,1\} \quad \forall i \in I^A, h \in H, d \in D \quad (12) \\ & \delta \in \mathbb{R} \quad (15) \\ & d_{iw}^+ \in \mathbb{R} \quad \forall i \in I, w \in W \quad (21) \\ & d_{iw2}^+ \in \mathbb{R} \quad \forall i \in IBloco, w = 1, \dots, 8 \quad (22) \\ & d_{ih}^{R-} \in \mathbb{R} \quad \forall i \in I, h \in H : r_{ih} = 1 \quad (23) \end{aligned} \right\}$$

onde  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  e  $\lambda_5$  são reais não negativos.

Neste modelo de PLBM a única alteração que se introduziu foi a transformação das restrições (3), (9), (10) e (11) do Modelo Original, nas restrições (17), (18), (19), e (20) de metas, respetivamente, através da utilização de variáveis auxiliares para incorporar as restrições *soft* como metas. É de referir que a função objetivo também foi alterada, passando agora a incluir as variáveis de meta.

A alteração efetuada que originou as restrições (17) visa garantir que em casos excepcionais, como, por exemplo, num período com muitas indisponibilidades, alguns artistas possam realizar mais do que duas visitas por semana. As restrições (18) visam garantir que nas visitas realizadas ao bloco seja permitido que o mesmo artista realize esta visita em semanas seguidas caso, por exemplo, um dos dois artistas se encontre indisponível. A alteração efetuada que deu origem às restrições (19) e (20), vem permitir que, quando não é possível, não seja atribuída às visitas do hospital  $h$  o artista responsável por aquele hospital.

Por fim, nas restrições (15), (21), (22) e (23) é definido o domínio das variáveis.

### 4.3 Resolução do Problema

Para determinar uma solução para o problema em estudo, utilizando o problema de metas, obtiveram-se resultados para uma instância com dimensão não muito elevada. O modelo formulado é composto por 3913 variáveis, das quais 3645 são variáveis binárias e 268 são variáveis reais, e por 696 restrições, o que possibilita o uso de um *software* para a obtenção de uma solução ótima para o caso em estudo. Deste modo, decidiu recorrer-se ao uso da folha de cálculo do *Excel* para formular o problema e ao uso do *software OpenSolver* (que pode ser obtido de forma gratuita [24]) para obter uma solução admissível para o mesmo (não foi possível utilizar o *software Solver* devido, pelo menos, ao número de variáveis do problema).

Numa fase inicial, foi necessário definir os valores que os parâmetros  $\lambda_i$  vão assumir. É de mencionar que para a escolha dos valores para estes parâmetros realizaram-se várias experiências. Assim, os valores atribuídos a cada  $\lambda_i$  foram os seguintes:  $\lambda_1 = 1$ ;  $\lambda_2 = 1000$ ;  $\lambda_3 = 100$ ;  $\lambda_4 = 1$ ;  $\lambda_5 = 1$ .

Após várias ponderações, foram atribuídos estes valores aos parâmetros  $\lambda_i$ , pois esta escolha possibilitou que as restrições *soft* fossem “o mais possível” satisfeitas sem grande prejuízo para os objetivos do problema. Assim, garantiu-se um número total de horas de visita por artista semelhante, mas também se garantiu que raramente algum artista seria selecionado para realizar a visita num dia em que não se tivesse disponibilizado para trabalhar, conforme previamente solicitado pela instituição, e que só em casos estritamente necessários é que um artista realizaria mais do que duas visitas a hospitais por semana.

Após esta definição, apresentam-se nas tabelas 3 e 4 os restantes dados com que o modelo foi testado. Nestas são identificadas as indisponibilidades de cada artista e quem são os responsáveis por cada hospital, durante as nove semanas de planeamento. Estes dados foram recolhidos de um dos calendários fornecidos pela instituição, garantindo assim que a solução encontrada teria em consideração cenários reais.

| Artistas   | Indisponibilidades  |
|------------|---|
| Artista 1  | Semana 5: 5 <sup>a</sup>  |
| Artista 2  | Semana 1: 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 5 <sup>a</sup><br>Semana 4: 5 <sup>a</sup><br>Semana 8: 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup><br>Semana 9: 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 5 <sup>a</sup> |
| Artista 6  | Semana 1: 3 <sup>a</sup>  |
| Artista 8  | Semana 3: 5 <sup>a</sup><br>Semana 5: 5 <sup>a</sup><br>Semana 6: 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup>   |
| Artista 10 | Semana 5: 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 5 <sup>a</sup><br>Semana 9: 2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 5 <sup>a</sup>  |
| Artista 11 | Semana 7: 5 <sup>a</sup><br>Semana 8: 2 <sup>a</sup><br>Semana 9: 2 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup>   |

Tabela 3 - Indisponibilidades dos artistas (exemplo utilizado)

| Hospitais                      | Responsável |
|--------------------------------|-------------|
| Hospital Santa Maria           | Artista 11  |
| Hospital D. Estefânia          | Artista 10  |
| Hospital S. Francisco Xavier   | Artista 5   |
| IPO Lisboa                     | Artista 7   |
| Hospital Garcia da Horta       | Artista 12  |
| Hospital de Cascais            | Artista 1   |
| Hospital Amadora Sintra        | Artista 6   |
| CT. Med. Reabilitação Alcoitão | Artista 2   |
| Hospital Santa Marta           | Artista 14  |

Tabela 4 - Responsável por cada hospital (exemplo utilizado)

Após a introdução dos dados na folha de *Excel* e recorrendo ao *software OpenSolver* obteve-se o planeamento que consta na figura 1. É de salientar que a solução apresentada foi obtida em 9 segundos de tempo computacional, através do uso do *software OpenSolver* versão 2.9.0 a correr no *Windows 10 64-bit* e usando a linguagem de programação *VBA7 in 64-bit Excel 16.0*.

Na figura 1 constam as duplas de artistas afetos às várias visitas a realizar nos hospitais para um período de nove semanas. Como se pode verificar, por exemplo, para o artista 10, responsável pelo Hospital D. Estefânia, só na 5<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup> semana é que este artista não realiza nenhuma visita ao Hospital D. Estefânia. Nas restantes semanas, o artista 10 é seleccionado para realizar duas visitas por semana a este hospital, sendo este o mínimo exigido. Assim sendo, o valor da variável de meta  $d_{ih}^{R-}$  é de apenas 4 unidades (derivado das duas semanas sem realizar nenhuma das duas visitas exigidas).

|           | Segunda-Feira |         |           |              |                 | Terça-Feira |         |           |          | Quinta-Feira |           |           |          |
|-----------|---------------|---------|-----------|--------------|-----------------|-------------|---------|-----------|----------|--------------|-----------|-----------|----------|
|           | Estefânia     | IPO     | Sta Maria | S. Francisco | Garcia da Horta | Cascais     | Amadora | Estefânia | S. Marta | IPO          | Sta Maria | Estefânia | Alcoitão |
| 1ª Semana | 6<br>14       | 4<br>7  | 1<br>11   | 5<br>13      | 3<br>12         | 1<br>8      | 5<br>9  | 10<br>12  | 3<br>14  | 7<br>9       | 6<br>11   | 4<br>10   | 8<br>13  |
| 2ª Semana | 6<br>8        | 7<br>9  | 11<br>13  | 3<br>5       | 1<br>12         | 1<br>9      | 2<br>6  | 5<br>10   | 4<br>14  | 7<br>13      | 3<br>11   | 10<br>12  | 2<br>8   |
| 3ª Semana | 1<br>2        | 7<br>14 | 3<br>11   | 5<br>13      | 8<br>12         | 1<br>8      | 6<br>12 | 4<br>10   | 9<br>14  | 3<br>4       | 9<br>11   | 10<br>13  | 2<br>5   |
| 4ª Semana | 4<br>10       | 3<br>6  | 8<br>11   | 5<br>9       | 2<br>12         | 1<br>9      | 6<br>8  | 2<br>13   | 12<br>14 | 4<br>7       | 3<br>11   | 1<br>10   | 5<br>13  |
| 5ª Semana | 9<br>13       | 7<br>8  | 1<br>11   | 5<br>6       | 2<br>12         | 1<br>4      | 6<br>9  | 5<br>8    | 3<br>14  | 7<br>14      | 3<br>11   | 4<br>13   | 2<br>12  |
| 6ª Semana | 2<br>10       | 3<br>7  | 4<br>11   | 5<br>9       | 12<br>13        | 1<br>4      | 6<br>13 | 5<br>10   | 12<br>14 | 1<br>7       | 3<br>11   | 8<br>9    | 2<br>6   |
| 7ª Semana | 8<br>9        | 7<br>13 | 4<br>11   | 1<br>5       | 12<br>14        | 1<br>13     | 2<br>6  | 3<br>10   | 8<br>14  | 7<br>12      | 4<br>5    | 3<br>10   | 2<br>9   |
| 8ª Semana | 3<br>10       | 4<br>7  | 6<br>8    | 5<br>13      | 9<br>12         | 1<br>12     | 6<br>11 | 8<br>10   | 3<br>14  | 4<br>7       | 9<br>11   | 1<br>5    | 2<br>13  |
| 9ª Semana | 1<br>13       | 7<br>8  | 6<br>9    | 4<br>5       | 12<br>14        | 1<br>13     | 5<br>6  | 3<br>9    | 12<br>14 | 7<br>8       | 1<br>11   | 3<br>5    | 4<br>14  |

Legenda: O número do artista responsável pela visita ao bloco operatório encontra-se pintado a vermelho.

Figura 1 - Solução obtida pelo *OpenSolver*

A função objetivo da solução obtida apresenta um valor de 393 unidades sendo que a variável  $\delta$  apresenta um valor de 80 unidades e tem dois termos com valor nulo:

$$\lambda_2 \sum_{i=1}^{|A|} \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{d=1}^{|D|} c_{ih}^d x_{ih}^d \text{ e } \lambda_4 \sum_{i \in \text{IBloco}} \sum_{w=1}^8 d_{iw2}^+$$

O fator que mais influencia o valor ótimo da função objetivo, para esta instância, está relacionado com a restrição que visa garantir que cada artista só realiza duas visitas por semana. Assim, como na nona semana se encontram três artistas indisponíveis (dois nos três dias de visita e o outro em apenas dois dias de visita) houve a necessidade de atribuir para três artistas (artistas 1, 5 e 14), três visitas durante essa semana, o que levou a um termo da FO com valor de 300 unidades ( $\lambda_3 \sum_{i=1}^{|I|} \sum_{w=1}^{|W|} d_{iw}^+ = 100 \times 3$ ). Adicionalmente, temos o valor da variável  $\delta$  que também contribui para o valor positivo desta função no ótimo. Esta variável representa o número de horas máximo que um artista

pode realizar para que exista um equilíbrio horário, por calendário, entre todos os artistas, o que neste caso foram 80 horas ( $\lambda_1 \delta = 1 \times 80$ ). Por último, o valor da FO também é influenciado em 13 unidades ( $\lambda_5 \sum_{h=1}^{|H|} \sum_{i \in I : r_{ih}=1} d_{ih}^{R-} = 1 \times 13$ ) pela alocação de outros artistas à visita do hospital  $h$  em vez de serem alocados os artistas responsáveis por esse hospital durante o período em análise.

Em suma, o que se conclui da solução obtida é que nenhum artista é selecionado para realizar a visita num dia em que se encontra indisponível. Adicionalmente, é também possível verificar que o artista nomeado responsável do hospital  $h$  foi, sempre que possível, selecionado para realizar as visitas a esse mesmo hospital. A não seleção deveu-se às indisponibilidades dos próprios ou ao facto de o artista em questão já ter atingido o número máximo de horas de trabalho que garante o equilíbrio laboral entre todos os artistas. Relativamente à restrição que garante que cada artista, idealmente, só realiza duas visitas por semana pode-se observar que na solução obtida os artistas só realizam visitas três vezes por semana em casos em que não existe alternativa para realizar a terceira visita. Passando às visitas realizadas ao Bloco Operatório (assinaladas a vermelho) todas as quintas-feiras, no Hospital D. Estefânia, pode-se também verificar que estas são alternadas entre os artistas 14 e 15, como solicitado pela instituição. Por último, pode-se também aferir que o número total de horas de visitas a realizar por cada artista, durante as nove semanas, é muito idêntico para todos com exceção do artista 2, como se pode confirmar na figura 2. Esta exceção é justificada pelo facto de este mesmo artista se encontrar indisponível durante nove dias de visitas.

| Artistas   | Nº de Visitas a Hospitais Minis | Nº de Visitas a Hospitais Pequenos | Nº de Visitas a Hospitais Grandes | Horas Totais de Trabalho |
|------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Artista 1  | 0                               | 10                                 | 9                                 | 75                       |
| Artista 2  | 0                               | 0                                  | 13                                | 65                       |
| Artista 3  | 3                               | 1                                  | 14                                | 79,9                     |
| Artista 4  | 1                               | 3                                  | 13                                | 76,3                     |
| Artista 5  | 0                               | 9                                  | 10                                | 77                       |
| Artista 6  | 0                               | 1                                  | 15                                | 78                       |
| Artista 7  | 0                               | 0                                  | 16                                | 80                       |
| Artista 8  | 1                               | 2                                  | 14                                | 78,3                     |
| Artista 9  | 1                               | 4                                  | 13                                | 79,3                     |
| Artista 10 | 0                               | 0                                  | 14                                | 70                       |
| Artista 11 | 0                               | 0                                  | 16                                | 80                       |
| Artista 12 | 3                               | 1                                  | 14                                | 79,9                     |
| Artista 13 | 0                               | 5                                  | 13                                | 80                       |
| Artista 14 | 9                               | 0                                  | 10                                | 70,7                     |

Figura 2 - Distribuição do número de horas de visitas a realizar por artista

Adicionalmente, foram feitos mais testes ao modelo com instâncias diferentes, todas retiradas dos calendários fornecidos pela instituição, e as soluções obtidas para estas instâncias foram semelhantes à descrita anteriormente pelo que se pode concluir que com o modelo formulado é possível obter boas soluções para o caso em estudo, pelo menos com instâncias deste tipo.

#### 4.4 Programa para a Calendarização das Visitas

Dado o propósito deste trabalho, fornecer à instituição uma ferramenta que auxiliasse a tarefa bimensal de calendarização das visitas dos artistas aos hospitais, foi essencial desenvolver uma aplicação que utilizasse o modelo estruturado anteriormente. O desenvolvimento desta aplicação teve como base a linguagem do *Excel*, VBA, e as funcionalidades da mesma serão apresentadas nos seguintes pontos.

Esta aplicação, como já foi referido anteriormente, foi elaborada num ficheiro *Excel* intitulado “Programa para calendarizar as visitas dos artistas da ONV”. Ao iniciar o ficheiro é apresentado um menu inicial onde se encontram as seguintes opções: “Criar calendário das visitas”, “Limpar dados auxiliares anteriores”, “Inserir dados”, “Gerar

nova calendarização das visitas”, “Validar calendários”, “Parametrizações” e “Ajuda”, conforme apresentado na figura 3.



Figura 3 - Menu inicial da aplicação desenvolvida

Na primeira utilização é necessário carregar no botão “Parametrizações”, para que sejam definidos todos os parâmetros essenciais à corrida do *software OpenSolver*. Uma vez definidos, estes ficam automaticamente gravados neste ficheiro *Excel*.

Assim, acabado o passo mencionado, para se iniciar a tarefa de elaboração do planeamento é importante gerar os calendários para os meses a planear. Carregando no botão “Criar calendário das visitas”, surgirão duas *message boxes*, conforme apresentado na figura 4. Em cada uma destas deve ser mencionado o mês e o ano pretendido, como por exemplo, junho 2019 e julho 2019, para que sejam gerados automaticamente, nas folhas “Mês 1” e “Mês 2”, os calendários pretendidos (o anexo 1 apresenta a estrutura do calendário gerado). Desta forma, já se encontram

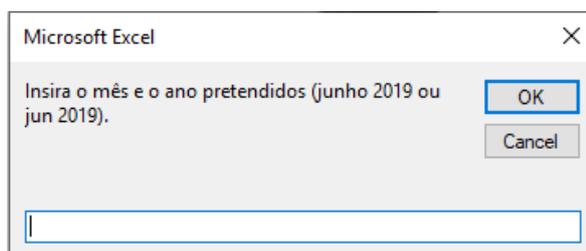


Figura 4 - Message box: Criar Calendário

*boxes*, conforme apresentado na figura 4. Em cada uma destas deve ser mencionado o mês e o ano pretendido, como por exemplo, junho 2019 e julho 2019, para que sejam gerados automaticamente, nas folhas “Mês 1” e “Mês 2”, os calendários pretendidos (o anexo 1 apresenta a estrutura do calendário gerado). Desta forma, já se encontram

disponíveis os dois calendários mensais a ser preenchidos pela instituição. É de referir que o desenvolvimento do código que está por detrás da elaboração dos calendários foi retirado do site da *Microsoft* [22] sendo apenas ajustado o código da parte gráfica do calendário gerado para ficar de acordo com o solicitado pela ONV.

Após já terem sido criadas as folhas base ao preenchimento do planeamento bimensal, é fundamental gerar a solução para a calendarização das visitas que funcionará como auxílio à execução desta tarefa da ONV. Ao clicar no botão “Limpar dados auxiliares anteriores” e de seguida no botão “Inserir dados”, os dados das indisponibilidades dos artistas e dos artistas responsáveis por cada hospital referentes ao período anterior são apagados e é apresentada a folha para introdução dos novos dados para o período pretendido (no anexo 2 é possível observar os quadros a preencher, nas figuras 9 e 10).

De seguida, e uma vez que toda a informação preenchida *a priori*, fundamental para o funcionamento do modelo, já se encontra devidamente introduzida no programa, é possível gerar uma solução para o planeamento das visitas aos hospitais a realizar pelos artistas da ONV para as nove semanas, recorrendo ao *software OpenSolver*. Para tal, clica-se no botão “Gerar nova calendarização das visitas”. Este botão executa de forma automática o *software OpenSolver* e preenche a solução gerada na folha “Modelo Planeamento” (no anexo 3 é possível observar-se parte desta folha), que é a folha onde está definido o PLBM, relativo ao modelo de metas, que serve de input ao *software OpenSolver*. Contudo, a apresentação gerada não é de fácil leitura e, como tal, o programa por detrás deste botão (“Gerar nova calendarização das visitas”) também estrutura a solução obtida numa outra folha “Planeamento”, conforme apresentado na figura 5.

| Segunda-Feira    |            |            |              |                 | Terça-Feira |            |            |            | Quinta-Feira |            |            |            |
|------------------|------------|------------|--------------|-----------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|
| Estefânia        | IPO        | Sta Maria  | S. Francisco | Garcia da Horta | Cascais     | Amadora    | Estefânia  | S. Marta   | IPO          | Sta Maria  | Estefânia  | Alcoitão   |
| <b>1ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 6        | Artista 4  | Artista 1  | Artista 5    | Artista 3       | Artista 1   | Artista 5  | Artista 10 | Artista 3  | Artista 7    | Artista 6  | Artista 4  | Artista 8  |
| Artista 14       | Artista 7  | Artista 11 | Artista 13   | Artista 12      | Artista 8   | Artista 9  | Artista 12 | Artista 14 | Artista 9    | Artista 11 | Artista 10 | Artista 13 |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 15 |            |
| <b>2ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 6        | Artista 7  | Artista 11 | Artista 3    | Artista 1       | Artista 1   | Artista 2  | Artista 5  | Artista 4  | Artista 7    | Artista 3  | Artista 10 | Artista 2  |
| Artista 8        | Artista 9  | Artista 13 | Artista 5    | Artista 12      | Artista 9   | Artista 6  | Artista 10 | Artista 14 | Artista 13   | Artista 11 | Artista 12 | Artista 8  |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 14 |            |
| <b>3ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 1        | Artista 7  | Artista 3  | Artista 5    | Artista 8       | Artista 1   | Artista 6  | Artista 4  | Artista 9  | Artista 3    | Artista 9  | Artista 10 | Artista 2  |
| Artista 2        | Artista 14 | Artista 11 | Artista 13   | Artista 12      | Artista 8   | Artista 12 | Artista 10 | Artista 14 | Artista 4    | Artista 11 | Artista 13 | Artista 5  |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 15 |            |
| <b>4ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 4        | Artista 3  | Artista 8  | Artista 5    | Artista 2       | Artista 1   | Artista 6  | Artista 2  | Artista 12 | Artista 4    | Artista 3  | Artista 1  | Artista 5  |
| Artista 10       | Artista 6  | Artista 11 | Artista 9    | Artista 12      | Artista 9   | Artista 8  | Artista 13 | Artista 14 | Artista 7    | Artista 11 | Artista 10 | Artista 13 |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 14 |            |
| <b>5ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 9        | Artista 7  | Artista 1  | Artista 5    | Artista 2       | Artista 1   | Artista 6  | Artista 5  | Artista 3  | Artista 7    | Artista 3  | Artista 4  | Artista 2  |
| Artista 13       | Artista 8  | Artista 11 | Artista 6    | Artista 12      | Artista 4   | Artista 9  | Artista 8  | Artista 14 | Artista 14   | Artista 11 | Artista 13 | Artista 12 |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 15 |            |
| <b>6ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 2        | Artista 3  | Artista 4  | Artista 5    | Artista 12      | Artista 1   | Artista 6  | Artista 5  | Artista 12 | Artista 1    | Artista 3  | Artista 8  | Artista 2  |
| Artista 10       | Artista 7  | Artista 11 | Artista 9    | Artista 13      | Artista 4   | Artista 13 | Artista 10 | Artista 14 | Artista 7    | Artista 11 | Artista 9  | Artista 6  |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 14 |            |
| <b>7ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 8        | Artista 7  | Artista 4  | Artista 1    | Artista 12      | Artista 1   | Artista 2  | Artista 3  | Artista 8  | Artista 7    | Artista 4  | Artista 3  | Artista 2  |
| Artista 9        | Artista 13 | Artista 11 | Artista 5    | Artista 14      | Artista 13  | Artista 6  | Artista 10 | Artista 14 | Artista 12   | Artista 5  | Artista 10 | Artista 9  |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 15 |            |
| <b>8ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 3        | Artista 4  | Artista 6  | Artista 5    | Artista 9       | Artista 1   | Artista 6  | Artista 8  | Artista 3  | Artista 4    | Artista 9  | Artista 1  | Artista 2  |
| Artista 10       | Artista 7  | Artista 8  | Artista 13   | Artista 12      | Artista 12  | Artista 11 | Artista 10 | Artista 14 | Artista 7    | Artista 11 | Artista 5  | Artista 13 |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 14 |            |
| <b>9ª Semana</b> |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            |            |            |
| Artista 1        | Artista 7  | Artista 6  | Artista 4    | Artista 12      | Artista 1   | Artista 5  | Artista 3  | Artista 12 | Artista 7    | Artista 1  | Artista 3  | Artista 4  |
| Artista 13       | Artista 8  | Artista 9  | Artista 5    | Artista 14      | Artista 13  | Artista 6  | Artista 9  | Artista 14 | Artista 8    | Artista 11 | Artista 5  | Artista 14 |
|                  |            |            |              |                 |             |            |            |            |              |            | Artista 15 |            |

Figura 5 - Calendário com o planeamento gerado pelo *OpenSolver*

Nesta fase, já se encontram reunidas todas as informações necessárias à elaboração do planeamento das visitas dos artistas da ONV aos hospitais podendo a ONV ajustar nas folhas “Mês 1” e “Mês 2” o planeamento obtido.

Adicionalmente, e visto que é de extrema importância que a elaboração deste planeamento tenha uma vertente humana, o planeamento é elaborado manualmente nas folhas “Mês 1” e “Mês 2” o que pode levar à existência de erros. Para se tentar colmatar esta situação foram desenvolvidos alertas sobre os calendários mensais preenchidos pelo colaborador da ONV. Para que estes alertas sejam executados deve-se clicar no botão “Validar calendários” e o programa vai verificar se nas folhas “Mês 1” e “Mês 2” nenhum artista foi selecionado para trabalhar em dois hospitais no mesmo dia. Todos os erros aparecem numa *message box* (figura 6), mas também são escritos na folha “Erros” (apresentada na figura 7), que apenas é criada quando existe algum erro a apresentar.

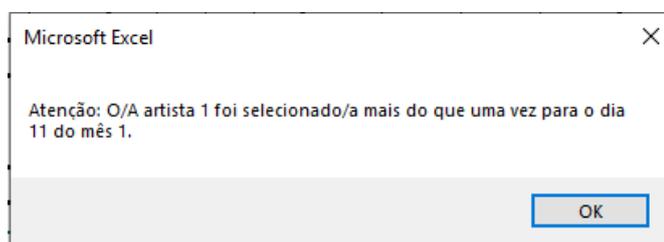


Figura 6 - *Message box*: Validação dos Calendários

O/A artista 1 foi selecionado/a mais do que uma vez para o dia 11 do mês 1.  
O/A artista 10 foi selecionado/a mais do que uma vez para o dia 1 do mês 2.  
O/A artista 4 foi selecionado/a mais do que uma vez para o dia 25 do mês 2.

Figura 7 - Folha "Erros"

Por último, foi desenvolvido um botão “Ajuda” com uma pequena explicação sobre as funcionalidades de todos os botões mencionados anteriormente para auxiliar, sempre que necessário, o colaborador que utiliza o programa (no anexo 4 é possível observar a funcionalidade deste botão).

É de referir que em todo este documento, por uma questão de sigilo, foi atribuído um número a cada artista, mas no programa desenvolvido foram considerados os nomes reais dos mesmos.

## 5 Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros

---

Ao longo deste projeto foram aplicados os conhecimentos adquiridos nas áreas de Investigação Operacional e Computação para desenvolver uma metodologia, implementando-a computacionalmente, com a finalidade de afetar os artistas da ONV às várias visitas aos hospitais durante as nove semanas de um período de planeamento. Para tal, foi formulado um modelo em PLBM que, recorrendo ao uso do *software OpenSolver* e utilizando um programa desenvolvido em VBA, permite aos colaboradores da ONV gerar de forma automática um calendário com o planeamento das visitas dos artistas aos hospitais.

Contudo, e apesar dos principais objetivos terem sido alcançados, a metodologia desenvolvida apresenta ligeiras limitações que derivam da necessidade que houve de adotar certas simplificações. Em primeiro lugar, a metodologia desenvolvida não tem em consideração as preferências dos hospitais e das duplas de artistas, pelo que vai continuar a exigir que a calendarização das visitas tenha uma vertente manual. Em segundo lugar, o programa desenvolvido não pode ser ajustado, o que implica que, caso haja alguma alteração ao número de artistas ou hospitais, será sempre necessária a intervenção de quem domine as várias funcionalidades do *Excel*. Adicionalmente, e ainda em relação ao programa desenvolvido, na parte da elaboração manual do calendário não foi possível, devido à elevada complexidade, implementar a validação que alerta quando um artista é escolhido para realizar a visita num dia em que se encontra indisponível. Em suma, considerando todas as limitações acima mencionadas, existem ainda ligeiros pontos a melhorar que poderão ser considerados num trabalho futuro.

Ainda assim, a metodologia e programa desenvolvidos serão uma ferramenta de extrema importância para facilitar a elaboração desta tarefa e possibilitar que a calendarização das visitas dos artistas da ONV aos vários hospitais seja menos morosa e trabalhosa, pois a ferramenta permite gerar automaticamente um planejamento das visitas. Desta forma, o colaborador da ONV pode realizar os ajustes que considere necessários ao planejamento gerado, tendo em consideração os casos que o modelo não prevê (como as preferências).

## 6 Bibliografia

---

- [1] “Operação Nariz Vermelho – A nossa história”, Operação Nariz Vermelho, [online]. Disponível em: [https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt\\_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos/História](https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos/História) [acedido em novembro de 2018];
- [2] “Operação Nariz Vermelho – Sobre nós”, Operação Nariz Vermelho, [online]. Disponível em: [https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt\\_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos](https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos) [acedido em novembro 2018];
- [3] “Operação Nariz Vermelho – Missão”, Operação Nariz Vermelho, [online]. Disponível em: [https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt\\_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos/Missao](https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos/Missao) [acedido em novembro de 2018];
- [4] “Operação Nariz Vermelho – Hospitais Onde Trabalhamos”, Operação Nariz Vermelho, [online]. Disponível em: [https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt\\_PT/?ObjectPath=/Shops/1290080722/Categories/ONV/HospitaisOndeTrabalhamos](https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/1290080722/Categories/ONV/HospitaisOndeTrabalhamos) [acedido em novembro de 2018];
- [5] “Operação Nariz Vermelho – Rir é o melhor remédio?”, Operação Nariz Vermelho, [online]. Disponível em: [https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt\\_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos/CentrodePesquisa/Rir\\_e\\_o\\_Melhor\\_Remedio](https://www.narizvermelho.pt/epages/1290-080722.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/1290-080722/Categories/ONV/QuemSomos/CentrodePesquisa/Rir_e_o_Melhor_Remedio) [acedido em novembro de 2018];

- [6] A. Melo, C. Esteves, L. Vagnoli, M. Antunes, M. Silva, M. Masetti, S. Caires e S. Ribeiro (2016), *Rir é o Melhor Remédio?*, 2nd edition, Lidergraf;
- [7] M. Moz e M. Pato (2003), An integer multicommodity flow model applied to the rostering of nurse rosters, *Annals of Operations Research* 119, 285-301;
- [8] F.S. Hillier e G.J. Lieberman (2015), *Introduction to Operations Research*, 10th edition, New York: McGraw-Hill, International Edition;
- [9] A.T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy e D. Sier (2004), Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research* 153, 3–27;
- [10] A.T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens e D. Sier (2004), An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering, *Annals of Operations Research* 127, 21-144;
- [11] J. Devassia, M. Salazar-Aguilar e V. Boyer (2018), Flexible job-shop scheduling problem with resource recovery constraints, *International Journal of Production Research* 56 (9), 3326–3343;
- [12] Kuhn, H. W. (1955), The Hungarian method for the assignment problem, *Naval Research Logistics* 2(1-2), pp. 83-97;

- [13] J. F. Bard e L. Wan (2006), The task assignment problem for unrestricted movement between workstation groups, *Journal of Scheduling* 9, 315–341;
- [14] G. H. Lewis, A. Srinivasan e Subrahmanian (1998), Staffing and Allocation of Workers in an Administrative Office, *Management Science* 44(4), 548-570;
- [15] A. Ingolfsson, M. Haque e A. Umnikov (2002), Accounting for time-varying queueing effects in workforce scheduling, *European Journal of Operational Research* 139, 585–597;
- [16] D. Teodorovic (1998), A fuzzy set theory approach to the aircrew rostering, *Fuzzy Sets and Systems* 95(3), 261–271;
- [17] G. Pesant, M. Gendreau, J. Potvin e J. Rousseau (1998), An Exact Constraint Logic Programming Algorithm for the Travelling Salesman Problem with Time Windows, *Transportation Science* 32(1), 3-85;
- [18] M. Hojati e A. S. Patil (2011), An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees, *European Journal of Operational Research* 209, 37-50;
- [19] D. Mankowska, F. Meisel e C. Bierwirth (2014), The home health care routing and scheduling problem with interdependent services, *Health Care Management Science* 17, 15–30;

[20] E. Zamorano, A. Becker e R. Stolletz (2018), Task assignment with start time-dependent processing times for personnel at check-in counters, *Journal of Scheduling* 21, 93–109;

[21] V. J. Rayward-Smith, I. H. Osman, C. R. Reeves e G. D. Smith (1996), *Modern Heuristic Search Methods*, 1st edition, England: Chichester, John Wiley & Sons Ltd.;

[22] “How to create a monthly calendar in Excel”, Microsoft, [online]. Disponível em: <https://support.microsoft.com/en-us/help/150774/how-to-create-a-monthly-calendar-in-excel> [acedido em maio de 2019];

[23] M. Ehrgott (2005), *Multicriteria Optimization*, 2nd edition, Berlin, Springer;

[24] “About OpenSolver”, Microsoft, [online]. Disponível em: <https://opensolver.org/> [acedido em maio de 2019];

[25] A. Cipriani e J. Geddes (2003), Comparison of systematic and narrative reviews: the example of the atypical antipsychotics, *Epidemiologia e Psichiatria Sociale* 12, 146-154.

## 7 Anexos

### 7.1 Anexo 1 – Estrutura do calendário mensal

junho 2019

| Domingo |  |  |  | Segunda-Feira |     |           |              |                 | Terça-Feira |         |           |          | Quarta-Feira |  |  |  | Quinta-Feira |           |           |          | Sexta-Feira |  |  |  | Sábado |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|---------------|-----|-----------|--------------|-----------------|-------------|---------|-----------|----------|--------------|--|--|--|--------------|-----------|-----------|----------|-------------|--|--|--|--------|--|--|--|--|
|         |  |  |  | Estefânia     | IPO | Sta Maria | S. Francisco | Garcia da Horta | Cascais     | Amadora | Estefânia | S. Marta |              |  |  |  | IPO          | Sta Maria | Estefânia | Alcoitão |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  | 1      |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
| 2       |  |  |  | 3             |     |           |              |                 | 4           |         |           |          | 5            |  |  |  | 6            |           |           |          | 7           |  |  |  | 8      |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
| 9       |  |  |  | 10            |     |           |              |                 | 11          |         |           |          | 12           |  |  |  | 13           |           |           |          | 14          |  |  |  | 15     |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
| 16      |  |  |  | 17            |     |           |              |                 | 18          |         |           |          | 19           |  |  |  | 20           |           |           |          | 21          |  |  |  | 22     |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
| 23      |  |  |  | 24            |     |           |              |                 | 25          |         |           |          | 26           |  |  |  | 27           |           |           |          | 28          |  |  |  | 29     |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
| 30      |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |
|         |  |  |  |               |     |           |              |                 |             |         |           |          |              |  |  |  |              |           |           |          |             |  |  |  |        |  |  |  |  |

Figura 8 - Calendário mensal

## 7.2 Anexo 2 – Inputs a preencher

### Indisponibilidades

|            | 1ª Semana |   |   | 2ª Semana |   |   | 3ª Semana |   |   | 4ª Semana |   |   | 5ª Semana |   |   | 6ª Semana |   |   | 7ª Semana |   |   | 8ª Semana |   |   | 9ª Semana |   |   |   |
|------------|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|-----------|---|---|---|
|            | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 | 2         | 3 | 5 |           |   |   |   |
| Artista 1  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 2  | 1         | 1 | 1 |           |   |   |           |   |   |           | 1 |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   | 1         | 1 |   | 1         | 1 | 1 |   |
| Artista 3  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 4  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 5  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 6  |           | 1 |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 7  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 8  |           |   |   |           |   |   |           | 1 |   |           |   |   |           |   |   | 1         | 1 | 1 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 9  |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 10 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   | 1         | 1 | 1 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           | 1 | 1 | 1 |
| Artista 11 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           | 1 | 1 |   |
| Artista 12 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   | 1 | 1 |
| Artista 13 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 14 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |
| Artista 15 |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |           |   |   |   |

| Legenda: |  |
|----------|--|
| 1        | Artista encontra-se indisponível para realizar visitas |

Figura 9 - Quadro a preencher com as indisponibilidades dos artistas

### Responsáveis por hospital

|            | Hospital Santa Maria | Hospital D. Estefânia | Hospital S. Francisco Xavier | IPD Lisboa | Hospital Garcia da Horta | Hospital de Cascais | Hospital Amadora Sintra | CT. Med. Reabilitação Alcoitão | Hospital Santa Marta |
|------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Artista 1  |                      |                       |                              |            |                          | 1                   |                         |                                |                      |
| Artista 2  |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         | 1                              |                      |
| Artista 3  |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 4  |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 5  |                      |                       | 1                            |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 6  |                      |                       |                              |            |                          |                     | 1                       |                                |                      |
| Artista 7  |                      |                       |                              | 1          |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 8  |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 9  |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 10 |                      |                       | 1                            |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 11 | 1                    |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 12 |                      |                       |                              |            | 1                        |                     |                         |                                |                      |
| Artista 13 |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                |                      |
| Artista 14 |                      |                       |                              |            |                          |                     |                         |                                | 1                    |
| Validações | 1                    | 1                     | 1                            | 1          | 1                        | 1                   | 1                       | 1                              | 1                    |

| Legenda: |  |
|----------|--|
| 1        | Se o artista for o responsável do hospital |

Figura 10 - Quadro a preencher com os responsáveis por cada hospital



#### 7.4 Anexo 4 – Botão “Ajuda”

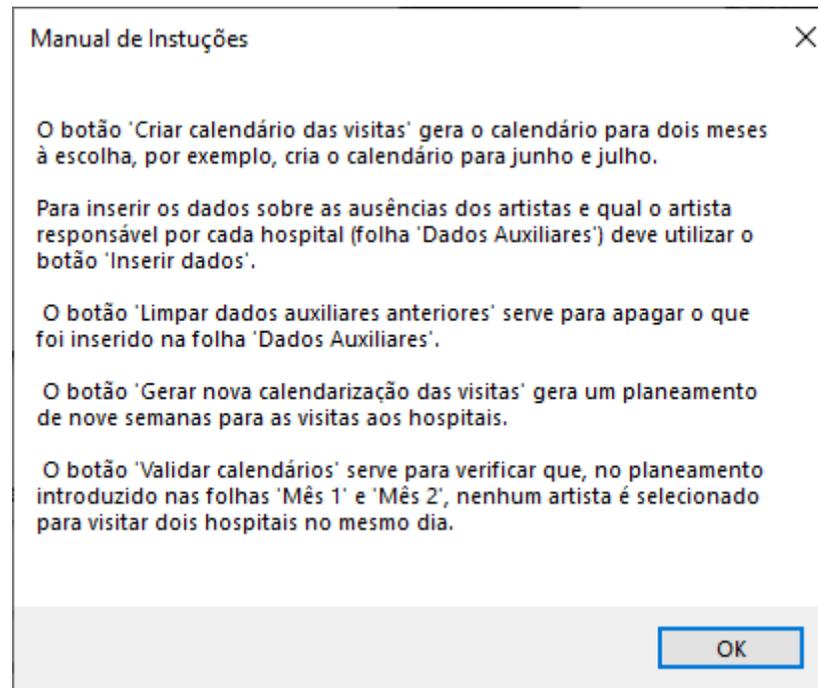


Figura 12 - Output do botão "Ajuda"