



# OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO E ESCALONAMENTO DE PESSOAL EM CONTEXTO DE OUTSOURCING INDUSTRIAL

**ANA CATARINA MOREIRA ANJOS**

novembro de 2017

# OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO E ESCALONAMENTO DE PESSOAL EM CONTEXTO DE *OUTSOURCING* INDUSTRIAL

Ana Catarina Moreira Anjos  
Outubro de 2017

Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Ana Catarina Anjos, Nº 1100854, 1100854@isep.ipp.pt

Orientação científica: Eng.º António Galvão Ramos, agr@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

**2017**



## *Agradecimentos*

Ao Eng.º António Galvão Ramos pela orientação ao longo da execução deste projeto e pelo apoio prestado durante o desenvolvimento.

Aos meus pais, que permitiram que me tornasse na pessoa que hoje encerra uma fase importante da sua vida.

Ao Ivo, que não deixou que deixasse de acreditar em mim, e que me apoiou e ajudou ao longo de todo este tempo.

E aos meus amigos, sendo eles parte desta temporada ou não, pois sem eles seria tudo bem mais difícil.

A todos, muito obrigado.



## *Resumo*

Este estudo foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de computadores – Ramo de Sistemas e Planeamento Industrial, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O projeto foi desenvolvido com base numa empresa de produção em contexto de *outsourcing* industrial, com o objetivo de desenvolver um método de resolução capaz de automatizar e otimizar a geração de escalonamentos de pessoal a partir das necessidades de produção, minimizando os custos decorrentes do processo manual atualmente existente.

A abordagem passou pela formulação de um modelo matemático e a sua posterior implementação numa aplicação preparada para resolver modelos com restrições lineares ou quadráticas, função objetivo linear e variáveis contínuas ou inteiras, o CPLEX da IBM.

Após a implementação, foi criada uma ferramenta para uso dos gestores, de forma a permitir que estes possam planear a quantidade de trabalhadores por tipos de mesmo, indicando apenas o turno e a semana do ano que se pretende planear.

Através dessa funcionalidade foi possível fazer uma análise geral e detalhada dos resultados do modelo e dos seus resultados.

No final do estudo, foi possível verificar que o modelo criado e as ferramentas realizadas cumpriam os objetivos de uma forma muito eficaz, minimizando os custos com uma dispensa de tempo de trabalho mínima.

## *Palavras-Chave*

Escalonamento de Pessoal, Formulação Matemática, Outsourcing Industrial, Minimização de Custos, Otimização de Planeamento.



## *Abstract*

This study was developed within the scope of the Thesis / Dissertation unit of the Master's in Electrical and Computer Engineering - Branch of Systems and Industrial Planning, of the Higher Institute of Engineering of Porto.

The project was developed based on a production company in the context of industrial outsourcing, with the objective of developing a resolution method capable of automating and optimizing the generation of personnel schedules from existing data of the same company, minimizing the costs resulting from the existing manual process.

The approach involved the formulation of a mathematical model and its subsequent implementation in an application prepared to solve models with linear or quadratic constraints, linear objective function and continuous or integer variables, the IBM CPLEX.

After the implementation, a tool was created for the use of the managers, so that they can plan the number of workers by type, indicating only the shift and the week of the year meant to be planned.

Through this functionality it was possible to make a general and detailed analysis of the whole operation of the model and its results.

At the end of the study, it was possible to verify that the model created and the tools performed fulfilled the objectives in a very effective way, minimizing the costs with a minimum waiver of work time.

## *Keywords*

Personnel Scheduling, Mathematical Formulation, Industrial Outsourcing, Cost Minimization, Planning Optimization.



## *Résumé*

Cette étude a été développée dans le cadre du cours Thèse / Mémoire Maîtrise en génie électrique et informatique - Direction des systèmes industriels et de la planification, l'Institut d'ingénierie de Porto.

Le projet a été développé sur la base d'une société de production dans le cadre de la sous-traitance industrielle, afin de développer une méthode de résolution capable d'automatiser et d'optimiser la génération des escalades personnelles à partir des données existantes de la même entreprise, ce qui minimise les coûts de processus manuel existant.

L'approche a la formulation d'un modèle mathématique et sa mise en œuvre ultérieure dans une application prête à résoudre les modèles avec contraintes linéaire ou quadratique, fonction objectif linéaire et des variables continues ou entières, le CPLEX d'IBM.

Après la mise en œuvre, pour une utilisation par les gestionnaires afin de leur permettre a été créé un outil pour planifier le nombre d'employés selon le type de même, ce qui indique que le début de l'année et la semaine qui devrait être prévu.

Grâce à cette fonctionnalité, il a été possible de faire une analyse complète et détaillée de l'ensemble du fonctionnement du modèle et de ses résultats.

A la fin de l'étude, il a été possible de vérifier que le modèle créé et les outils mis en œuvre remplissaient les objectifs de manière très efficace, en minimisant les coûts avec une minimisation du temps de travail.

## *Mots-clés*

Planification du personnel, Formulation mathématique, Externalisation industrielle, Réduction des coûts, Optimisation de la planification.



# Índice

AGRADECIMENTOS .....	I
RESUMO .....	III
ABSTRACT .....	V
RÉSUMÉ .....	VII
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 ENQUADRAMENTO .....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	4
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	5
2.2 CARACTERÍSTICAS PESSOAIS, DELINEAMENTO DE DECISÃO E DEFINIÇÃO DE TURNOS .....	9
2.3 RESTRIÇÕES, MEDIDAS DE DESEMPENHO E FLEXIBILIDADE.....	10
2.4 RELAÇÃO ENTRE A LITERATURA E O CASO DE ESTUDO.....	12
<b>3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	19
3.2 FORMULAÇÃO DO MODELO.....	23
<b>4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
4.1 TESTES COMPUTACIONAIS .....	29
4.2 PROBLEMAS DE TESTE.....	30
4.3 ROBUSTEZ DO MODELO .....	33
4.4 ANÁLISE DE RESULTADOS INDIVIDUAIS .....	34
4.5 FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO .....	42
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS .....</b>	<b>49</b>



## *Índice de Figuras*

Figura 1: Variação de Custo por Tipo de Trabalhador e por Turno	31
Figura 2: Comparação dos valores obtidos em cada uma das instâncias para cada um dos formatos: normal e relaxado.	34
Figura 3: Variação entre a procura para os trabalhadores indiferenciados e trabalhadores especialistas	35
Figura 4: Trabalhadores Internos vs. Férias - Turno 1	36
Figura 5: Trabalhadores Internos vs. Férias - Turno 2	37
Figura 6: Trabalhadores Internos vs. Férias - Turno 3	37
Figura 7: Trabalhadores Externos vs. Férias - Turno 1	37
Figura 8: Trabalhadores Externos vs. Férias - Turno 2	38
Figura 9: Trabalhadores Externos vs. Férias - Turno 3	38
Figura 10: Trabalhadores Especialistas vs. Férias - Turno 1	39
Figura 11: Trabalhadores Especialistas vs. Férias - Turno 2	39
Figura 12: Trabalhadores Especialistas vs. Férias - Turno 3	39
Figura 13: Variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas – Turno 1	40
Figura 14: Variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas – Turno 2	41
Figura 15: Variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas – Turno 3	41
Figura 16: Filtros a selecionar na ferramenta de apoio à decisão – Planeamento Mensal de Turno	42

Figura 17: Planeamento Mensal do Turno 1, Mês 1	43
Figura 18: Planeamento Mensal do Turno 2, Mês 11	43
Figura 19: Planeamento Mensal do Turno 3 - Mês 7	43
Figura 20: Filtros a seleccionar na ferramenta de apoio à decisão – Planeamento mensal de trabalhadores	44
Figura 21: Aspeto geral da ferramenta de apoio à decisão – Planeamento mensal de trabalhadores	44
Figura 22: Planeamento Mensal de Trabalhadores – Turno 1 - Mês 1	44
Figura 23: Planeamento Mensal de Trabalhadores – Turno 2 - Mês 1	45
Figura 24: Planeamento Mensal de Trabalhadores – Turno 3 - Mês 1	45

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1: Custo por tipo de trabalhador, em cada turno.	30
Tabela 2: Comparação dos valores obtidos após a execução do modelo criado para 10 instâncias geradas aleatoriamente, para valores interos e decimais.	32
Tabela 3: Valores utilizados para o cálculo da função objetivo	36



## *Acrónimos*

MPL – Mathematical Programming Language

ILP – Programação linear inteira

MILP – Programação Linear Inteira Mista



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

Elaborar escalas de trabalho em contexto de *outsourcing* industrial exige a manipulação de um grande volume de informação, o que torna a tarefa complexa e sujeita a ocorrência de conflitos entre os elementos envolvidos. As escalas de turnos, folgas, férias, sobreavisos, postos de trabalho e intervalos são geradas mensalmente, podendo sofrer alterações no decorrer do mês. Entre as escalas mencionadas existem vínculos que devem ser considerados na elaboração das mesmas.

O escalonamento de pessoal gera problemas notórios que vão sendo abordados há extensas décadas por modelos e métodos de otimização. O objetivo de todas essas

abordagens acaba por ir sempre de encontro ao mesmo: garantir que os pacotes de trabalho existentes na área de negócio em questão, para um determinado planeamento – temporal e funcional – sejam executados de forma viável por um conjunto de trabalhadores – cujo tipo está devidamente associado ao tipo de tarefa em questão.

Durante este processo deve caucionar-se assim a prestação de serviços e ao mesmo tempo respeitar a correspondência direta entre as exigências de cada tarefa e as competências dos colaboradores, considerando também a disponibilidade prevista destes profissionais, assim como as suas preferências e ainda os regulamentos internos e legislação imposta sobre a atividade da instituição em causa.

Em todas as áreas de negócio é possível detetar problemas no que diz respeito ao escalonamento de pessoal. Este problema é recorrente e distintamente desafiante em áreas de produção, o que leva a que vários investigadores, ao longo dos anos, se debruçam sobre esta questão.

Tipicamente, as empresas de produção dividem-se em turnos que preenchem de forma integral as 24 horas existentes num dia, de forma a garantirem a produção máxima dos produtos. Por esta razão, o escalonamento de pessoal é uma tarefa que tem de ser repetida e frequentemente feita ao longo do tempo por parte dos gestores, por forma a criar um ambiente de produção eficiente, tanto do ponto de vista dos trabalhadores como do ponto de vista do negócio.

Apesar da relevância que este processo assume, toda a responsabilidade de efetuar o escalonamento do pessoal recai, na maior parte dos casos, numa só pessoa, comumente o diretor de cada um dos serviços.

Este, coadjuvado pela sua experiência, dedica grande parte do seu tempo à demorada tarefa de programar todas as tarefas previstas, tendo em conta os níveis de atividade esperados para todos os turnos de trabalho num período estipulado, devendo ainda observar o seu cumprimento e garantir a satisfação tanto de clientes como de trabalhadores da forma mais eficaz e económica possível.

Torna-se assim clara a vantagem e a necessidade de desenvolver modelos e algoritmos de otimização para este método, e de também criar instrumentos de apoio à decisão neste contexto.

Na maioria dos casos, o estudo deste tipo de problemas tem como objetivo o minimização de custos ou a melhoria da satisfação dos trabalhadores tendo em conta as suas especializações e exigências contratuais, ou alternativamente atingir a melhor combinação entre estes dois critérios.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste contexto, o objetivo do trabalho proposto é desenvolver um método de resolução capaz de automatizar e otimizar a geração de escalas a partir de dados existentes de uma empresa, minimizando custos decorrentes do processo manual.

Sendo assim, o que se propõe é realizar a formulação de um modelo matemático que suporte todas as especificações do problema em questão, que posteriormente será implementado numa aplicação preparada para resolver modelos com restrições lineares ou quadráticas, função objetivo linear e variáveis contínuas ou inteiras, o CPLEX da IBM.

Após a implementação do modelo, serão analisados os resultados obtidos.

Através dos resultados, será possível fazer uma análise geral e detalhada de todo o funcionamento do modelo e dos seus resultados.

Por fim, será elaborada uma ferramenta também em Excel, que permita ao utilizador planear a quantidade de trabalhadores por tipos de mesmo, indicando apenas o turno e a semana do ano que se pretende planear.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O corrente documento é subdividido em 5 grandes capítulos.

No primeiro capítulo introduz-se o tema abordado ao longo do estudo, salientando os objetivos do mesmo e descrevendo sucintamente a organização do documento.

No segundo capítulo, faz-se uma pequena revisão da literatura inserida no tema em estudo, bem como a relação entre os artigos existentes e as especificações do estudo.

No terceiro capítulo, apresenta-se uma descrição do problema em estudo, onde é desenvolvida a formulação do modelo, as especificações computacionais e a implementação do mesmo.

No quarto capítulo, é feita uma análise dos resultados de uma forma generalizada e, posteriormente, de uma forma individualizada. São também neste capítulo apresentadas as ferramentas criadas para efeitos de planeamento e escalonamento de pessoal.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões que foram possíveis apurar no final deste estudo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Nas últimas décadas, os problemas de escalonamento de pessoal foram amplamente estudados. O aumento da atenção à pesquisa pode ser motivado por considerações económicas. Para muitas empresas, o custo da mão-de-obra é o principal componente de custo direto. Reduzir esse custo em alguma percentagem através da implementação de um novo escalonamento de pessoal pode, portanto, ser muito benéfico.

### 2.1 INTRODUÇÃO

O escalonamento de pessoal na indústria é tipicamente complicado, uma vez que a procura é feita durante 24 horas por dia, 7 dias por semana.

O objetivo desta gestão é encontrar a melhor combinação de empregados por hora para que a procura seja satisfeita pelo mínimo custo possível.

O problema é complicado por:

- Leis de trabalho;
- Contratos sindicais e aperiódicos;
- Flutuações aleatórias na procura.

O problema do escalonamento de pessoal hoje é muito diferente do apresentado por Dantzig (1954) e Edie (1954) na década de 1950. A importância relativa de satisfazer as necessidades dos funcionários nas decisões de pessoal e escalonamento cresceu.

Um dos primeiros métodos de classificação para problemas de programação de pessoal foi proposto por Baker (1976). De acordo com este autor, podem ser distinguidos três grupos principais:

- Programação por turnos;
- Folgas;
- Escalonamento de turnos, que combina os dois primeiros tipos.

Na programação por turnos, também chamado de programação do horário do dia, é necessário agendar um horizonte de planeamento diário. O tipo mais simples de programação envolve turnos não sobrepostos. Isso implica que a equipa pode ser obrigada a trabalhar de forma independente.

Este tipo de problema é típico para empresas industriais. A principal vantagem é que o problema da alocação é fácil de resolver e a solução é relativamente fácil de implementar. No entanto, quando a procura tem variações em pequenos intervalos comparado com a duração do turno, esta configuração deixa de ser útil. Desta forma, é necessário um modelo para a alocação de turnos sobrepostos. Os centros de chamadas, por exemplo, encontram esse tipo de problema de escalonamento.

No segundo grupo de problemas (folgas ou programação diária), a duração da semana de trabalho na instalação não corresponde à duração da semana de trabalho de um

funcionário. Uma versão amplamente utilizada deste problema é a instância de semanas de trabalho de 5 dias para funcionários e uma semana operacional de 7 dias.

Uma variação do problema integra o pressuposto de que os dias de folga do empregado devem ser consecutivos. Como já mencionado, o terceiro caso é uma combinação do escalonamento de turnos e do problema de programação de dias de folga. Na programação de turnos de pessoal, as organizações operam sete dias por semana, com mais de um turno por dia (por exemplo, companhias aéreas, hotéis, hospitais, etc.). Uma vez que os funcionários devem receber intervalos diários e semanais, o turno específico (ou seja, horas do dia e dias da semana) em que o funcionário deve trabalhar precisa de ser especificado. Tal como acontece com o deslocamento e dias de problemas de escalonamento, a complexidade e o tamanho dos problemas de escalonamento dependem de uma série de fatores (Alfares, 2004). O que realmente influencia a complexidade do problema é a duração do intervalo de planeamento mínimo, que tipicamente varia de 15 min a 8 h.

Bechtold, Brusco e Showalter (1991) classificam métodos de solução de escalonamento de pessoal em duas categorias: programação linear ou construção e formulação de diferentes problemas de escalonamento.

Posteriormente, várias categorias foram adicionadas por diferentes autores. Na sua pesquisa, Alfares (2004) propôs dez categorias para abordagens de escalonamento de rotas:

1. Solução manual
2. Programação inteira
3. Modelação implícita
4. Decomposição
5. Programação de metas
6. Geração de conjuntos de trabalho
7. Solução baseada em LP
8. Construção/melhoria
9. Meta heurísticas
10. Outros métodos.

Ernst, Jian, Krishnamoorthy e Sier (2004) apresentam uma revisão da programação e seleção do pessoal. A classificação apresenta o processo de escalonamento de pessoal como um número de módulos:

- Modelação da procura;
- Planeamento de dias de folga;
- Escalonamento de turnos;
- Construção de linhas de trabalho;
- Atribuição de tarefas e de equipas.

A exigência de diferentes módulos depende da aplicação.

Muitas vezes é possível combinar vários módulos no mesmo procedimento. Esta classificação é usada para discutir as principais questões relacionadas com o escalonamento de pessoal em diferentes áreas de aplicação, tais como sistemas de transporte, *call centers*, sistemas de saúde, etc.

Outros artigos de revisão popular são escritos por Tien, J. M., e Kamiyama, A. (1982) e Thompson (1998), que dividem o processo de escalonamento pessoal em várias etapas.

É feita uma distinção entre documentos de gestão e técnicos. Os livros, por exemplo, são considerados documentos de gestão, uma vez que não é possível classificar todas as informações dos diferentes capítulos do livro. Só os documentos técnicos é que contribuem para o processo de classificação, uma vez que não é fornecida uma descrição algorítmica de um método de solução.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS PESSOAIS, DELINEAMENTO DE DECISÃO E DEFINIÇÃO DE TURNOS

Uma maneira de classificar os membros da equipa é olhar para o contrato de trabalho, que se distingue entre trabalhadores de tempo integral e de tempo parcial. A grande maioria dos artigos estuda problemas de pessoal em tempo integral. Uma série de artigos também incorporam pessoal a tempo parcial no seu modelo, tendo por base instâncias de problemas do mundo real, onde geralmente há trabalhadores dos dois tipos mencionados.

Quando certas tarefas requerem competências específicas, o pessoal é considerado como um conjunto heterogéneo de trabalhadores, cada um com uma série de competências específicas. Em relação a certos problemas, as tarefas podem ser realizadas por trabalhadores que não possuam competências específicas. Esta é uma análise custo-benefício. Outra classificação é baseada no agrupamento de trabalhadores. Alguns problemas requerem o escalonamento de uma equipa em vez de considerar cada trabalhador por conta própria. As aplicações para este tipo de problemas de escalonamento podem ser encontrados na área dos transporte, onde é necessário combinar o escalonamento pessoal com a rota do veículo. O número de veículos e / ou rotas é geralmente limitado e cada veículo precisa de vários membros de equipa com ou sem competências específicas.

Os problemas de escalonamento de pessoal consistem em várias decisões que devem ser tomadas, como sequências de turnos e o tempo. O processo de decisão do grupo envolve várias decisões diferentes. Para cada decisão, distinguimos entre trabalhadores e equipas individuais.

A flexibilidade recebe atenção particular na literatura. Topaloglu e Ozkarahan (2004) afirmam que as organizações usam diferentes horários de mudança de turno, alongamentos de turnos, pausas diárias e padrões de trabalho, a fim de proporcionar flexibilidade. Quando o número de alternativas de flexibilidade aumenta, o desenvolvimento de horários de turnos torna-se mais complexo.

A primeira decisão relativa à flexibilidade baseia-se na sobreposição de turnos. Quando a procura se encontra bem distribuída ao longo do dia e o período operacional diário é muito

extenso para ser coberto por um único turno, um possível método passa por criar vários turnos que não se sobrepõem. Este método é muito comum em hospitais e organizações industriais. Quando a organização opera durante todo o dia, o mesmo é muitas vezes dividido em três turnos distintos com um comprimento de 8 horas. Os gestores de pessoal nos *call centers* tiveram que apresentar uma abordagem diferente, uma vez que as chamadas recebidas chegaram a intervalos muito irregulares durante o dia.

Ao permitir que os turnos se sobreponham, é possível aumentar o número de trabalhadores no local de trabalho em determinados horários. Desta forma, pode-se lidar com os picos da procura sem se ser forçado a planear horas extra ou contratar trabalhadores extra e pode-se evitar pessoal excessivo durante períodos de baixa procura.

A decisão do primeiro turno não contribui muito para a flexibilidade do gestor, porque as mudanças são predeterminadas. Permitir ao utilizador diferenciar as horas de início / término (entre limites) e o comprimento de turno também contribui para a flexibilidade. Às vezes, os tempos de início da mudança fixos e definíveis e / ou os comprimentos de turnos são combinados para resolver o mesmo problema.

## 2.3 RESTRIÇÕES, MEDIDAS DE DESEMPENHO E FLEXIBILIDADE

Nesta seção, classificamos a variedade de restrições que aparecem nos problemas de escalonamento de pessoal, distinguindo entre restrições difíceis e suaves, por categoria.

As diferentes categorias são distinguidas entre cobertura, restrições de tempo e de equidade e restrições de equilíbrio. Além disso, a flexibilidade que permite ao utilizador lidar com essas restrições é discutida.

Quando se trata do desempenho de uma determinada restrição ou medida de desempenho, a diferença geralmente é de interesse. Bard e Purnomo escreveram uma série de trabalhos sobre o problema da programação de enfermagem (Bard, J. F., & Purnomo, H. W., 2005). Eles definem a carga de trabalho como um limite inferior e superior no número de enfermeiros necessários por turno. Devido à escassez de pessoal a nível nacional, eles assumem que seria incomum cobrir toda a procura. Portanto, as falhas no

cronograma podem ser preenchidas por recursos externos (limitados), tal como no modelo estudado no corrente documento.

Um objetivo é gerar um conjunto de listas que minimizem o custo de preencher as falhas dos especialistas externos.

Nissen e Günther (2010) consideram restrições como um conjunto de restrições suaves. Quando ocorre uma discrepância a partir do alvo de pessoal da estação de trabalho, os erros são gerados quanto à duração e ao tamanho da tarefa errada. Eles distinguem diferentes tipos de erros por excesso de pessoal e falta de procura. Quando os investigadores classificam as restrições de cobertura como restrições difíceis, a falta de pessoal não é permitida.

White *et al.* (2007) avaliam os algoritmos heurísticos utilizados para produzir listas de tarefas para estagiários médicos para turnos durante a noite. Idealmente, estão presentes exatamente 5 membros, mas, por razões financeiras, apenas 4 ou 3 podem ser alocados.

Quando é possível que o pessoal seja classificado em diferentes categorias de competência, é adicionada uma restrição para garantir principalmente a presença de um número de trabalhadores por competência necessária durante um período específico. A necessidade de uma competência específica pode ser modelada como restrição difícil ou suave.

No problema de programação de enfermeiros de Brucker *et al.* (2010) a construção de mudança de turnos para cada enfermeiro de diferentes competências é considerada uma restrição difícil. No entanto, são consideradas "competências alternativas" como uma restrição suave.

Distinguem-se três grupos em relação à medida que as competências são consideradas flexíveis.

O primeiro grupo consiste em competências que são definíveis. Nesse caso, o gestor tem a liberdade de definir competências para cada membro pessoal no conjunto considerado.

O segundo grupo diz respeito a problemas com uma hierarquia. Nesse caso, os funcionários são classificados numa categoria que é capaz de desempenhar as tarefas de trabalhadores de menor escalão, mas não vice-versa.

Geralmente, os trabalhadores de uma categoria superior recebem um maior nível de compensação do que os trabalhadores numa categoria inferior. São disso exemplo os hospitais, onde os horários devem ser satisfeitos para um número determinado de enfermeiros com diferentes notas ou os alunos devem ser alocados juntamente com enfermeiros ou médicos (White, C. A., Nano, E., Nguyen-Ngoc, D. H., & White, G. M., 2007).

## 2.4 RELAÇÃO ENTRE A LITERATURA E O CASO DE ESTUDO

A partir da análise de um artigo que tinha por base um modelo matemático associado ao escalonamento de pessoal escrito por Van den Bergh, Beliën, De Bruecker, e Demeulemeester (2013), fez-se uma relação entre os dados usados para esse mesmo artigo e as especificações dadas para o estudo corrente.

As soluções dadas ao longo do artigo base já mencionado são muito vantajosas, no entanto não nos permitia aplicar o modelo que queríamos de uma forma simplificada (Van den Bergh *et al.*, 2013).

De forma a facilitar esse processo, foi criado um método que facilitasse a obtenção da informação.

Com base nas tabelas presentes no artigo que foi publicado, foi possível apurar quais os artigos sobre escalonamento de pessoal que melhor se relacionavam com o trabalho em curso. Contudo, as tabelas do artigo base estavam divididas por categorias ao longo do mesmo e tornava-se complexo concatenar toda a informação de forma a perceber qual os melhores artigos que dariam suporte ao caso de estudo. Sendo assim, agregou-se toda a informação referentes às tabelas distintas do artigo e construiu-se uma tabela inicial onde numa primeira linha, estavam diferenciadas todas as áreas de abordagem em relação ao escalonamento de pessoal e, numa segunda linha, existiam todas as hipóteses relacionadas

com cada uma das áreas de abordagem (Exemplo: Contrato – Parcial e Tempo Inteiro) (Van den Bergh *et al.*, 2013).

Sendo assim, e após concatenar toda a informação presente no artigo, fez-se uma análise de todas as áreas de abordagem e das hipóteses e suprimiu-se todas as áreas e respectivas hipóteses que não se enquadravam no contexto do nosso problema, deixando apenas as especificações referentes a este caso de estudo, que irei analisar posteriormente (Van den Bergh *et al.*, 2013). Após termos uma tabela onde apenas as nossas especificações estão presentes, foi-nos possível apurar o número de ocorrências das nossas especificações nos artigos verticalmente dispostos na tabela em anexo. Essas ocorrências foram contadas horizontalmente e quanto maior o número, maior seria a relação ao caso de estudo.

A tabela que faz essa relação e apura o número de ocorrências das especificações definidas encontra-se no capítulo Anexos do corrente documento (Van den Bergh *et al.*, 2013).

A partir dessa mesma tabela, que enumera os artigos verticalmente numa primeira coluna, foram-se colocando todas as especificações nas colunas que se seguiam, assinalando com todas as especificações às quais os artigos se referiam. A partir do número de compatibilidades (que foram obtidas através da seleção das especificações outrora colocadas na tabela, que se relacionavam diretamente com o estudo a fazer), é possível verificar quais os artigos que melhor tratam os assuntos que se pretendem abordar.

Sendo assim, as especificações que foram escolhidas para o problema em estudo foram:

- **Contrato**
  - Tempo inteiro
  - Exigência de competências
- **Tipos de Decisões**
  - Tarefas em equipa
  - Tarefas individuais
  - Sequência de turnos entre equipas
- **Flexibilidade no que diz respeito a tipos de decisões**
  - Equipas distintas
  - Inícios de turno fixos
  - Tempo de turno fixo

- **Conhecimentos**
  - Elevado nível de conhecimento
- **Flexibilidade no que diz respeito a pausas e conhecimentos**
  - Hierarquia de competências
- **Soluções técnicas**
  - Programação linear
  - Programação inteira
  - Programação inteira mista
  - *Branch-and-Price*
  - Heurística construtiva
  - Algoritmo genético
- **Incorporação incerta**
  - Determinística
- **Serviços**
  - Gerais
  - Outros
- **Outros serviços**
  - Manufaturaçã

Através da relação anteriormente mencionada, concluiu-se que os artigos que mais se aproximavam da realidade com a qual estávamos a lidar eram 3:

- V. Valls, A. Perez, S. Quintanilla, Skilled workforce scheduling in service centres, European Journal of Operational Research (2009)
  - O artigo supra mencionado trata de um problema complexo de escalonamento de tarefas e atribuição de recursos que surge na gestão diária dos centros de serviço de uma determinada empresa. Esse problema enfrenta características como:
    - Acordos de qualidade de serviço cliente-empresa que estabelecem datas máximas para o início e fim de tarefas com penalidades por atrasos;

- Níveis de criticidade que indicam a prioridade do cliente no processamento de cada tarefa;
- Relações de precedência generalizadas que podem produzir estruturas de ciclo;
- Período e atrasos de tempo percentuais;
- Durações de tarefas variáveis, dependendo do trabalhador que executa a tarefa.

Além disso, a empresa é composta por trabalhadores especializados caracterizados por níveis de eficiência que mostram a sua eficiência e velocidade executando vários tipos de tarefas.

O principal objetivo deste artigo é obter rapidamente um plano de ação viável que satisfaça as datas máximas estabelecidas e as restrições dos funcionários do horário.

Os objetivos secundários lidam com os níveis de urgência impostos pelos níveis de tarefa de criticidade, para obter uma carga de trabalho equilibrada e uma tarefa eficiente de especialistas em tarefas.

Neste artigo, é apresentado um algoritmo genético híbrido eficiente e rápido que combina buscas locais com técnicas de gestão de população genética para gerir o modelo.

- J.F. Bard, Staff scheduling in high volume service facilities with downgrading, IIE Transactions (2004)

- Este artigo discute o problema da programação de mão-de-obra multiquificada em organizações de serviços onde a procura varia ao longo do dia, 7 dias por semana.

O objetivo é determinar o melhor complemento de trabalhadores para que a procura seja satisfeita sem violar regras da legislação laboral, acordos sindicais e políticas da empresa.

Supõe-se que cada membro da empresa possui um tipo particular de competência e pode ser categorizado como a tempo inteiro, a tempo parcial ou temporário.

A procura é especificada pelo tipo de competência e, na análise de desclassificação, uma pessoa numa categoria de competência mais alta

pode receber um emprego numa categoria de competência mais baixa, mas na taxa de pagamento original.

Neste artigo é desenvolvido um modelo de programação linear inteira mista para um problema com base nos requisitos de pessoal nos Centros de Processamento e Distribuição de Correio do Serviço Postal dos EUA (P & DCs).

A metodologia da solução envolve o uso de um código comercial para encontrar turnos diários e heurísticas de pós-processamento para construir horários de 5 dias por semana, alocar pausas de almoço e atribuir trabalhadores a tarefas durante o dia.

Os resultados são apresentados para o Dallas P & DC, onde é visto que minimizações de custo consideráveis são possíveis quando a desclassificação é implementada.

- J.F. Bard, L. Wan, The task assignment problem for unrestricted movement between workstation groups, Journal of Scheduling (2006)
  - O objetivo deste artigo foi investigar o problema de atribuir tarefas aos trabalhadores durante os seus turnos diários.

Para uma empresa de trabalho homogénea, um determinado conjunto de grupos de estações de trabalho e uma procura correspondente de mão-de-obra, o objetivo foi desenvolver um cronograma desagregado para cada trabalhador que minimizasse a soma ponderada de transições entre grupos de estações de trabalho.

Na formulação do problema, cada dia é dividido em 48 períodos de tempo de 1/2 horas e é construída uma rede multimodal em que cada trabalhador corresponde a uma mercadoria única e cada nó representa uma combinação de período de trabalho. As pausas para almoço e o tempo livre são também incluídas no modelo.

Foi desenvolvida uma representação de rede reduzida em que os períodos inativos foram tratados de forma implícita, e uma metodologia sequencial em que a semana é decomposta em 7 problemas diários e cada uma obteve resultados respetivamente.

Para obter mais eficiência computacional, foi também desenvolvido um procedimento de pesquisa tabu (meta-heurística e procedimento adaptativo auxiliar, que guia um algoritmo de pesquisa local na exploração contínua dentro de um espaço de pesquisa).

Dependendo da categoria de mão-de-obra, em qualquer lugar de 3 a 28 grupos de estações de trabalho e até 311 trabalhadores a tempo inteiro e a tempo parcial deveriam ser colocados juntos. Os resultados foram misturados. Embora pequenos problemas pudessem ser resolvidos para otimizar a proximidade com as abordagens de programação inteira, a pesquisa tabu foi a melhor alternativa para as instâncias muito grandes. No entanto, o número excessivo de execuções necessárias para obter melhorias, prejudicou a sua eficácia. A combinação dos dois proporcionou um bom equilíbrio na maioria dos casos.



## 3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O objetivo do projeto apresentado no corrente documento foi desenvolver um método de resolução capaz de automatizar e otimizar a geração de escalas a partir de dados existentes de uma empresa, minimizando os custos decorrentes do processo manual. Sendo assim, perante a realidade que foi apresentada, foi elaborado um modelo matemático que satisfizesse o objetivo geral deste trabalho.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Relativamente à empresa em questão, foi dado que esta trabalhava num contexto de *outsourcing*, tendo assim trabalhadores internos e externos. Apesar de haver contratação

de trabalhadores externos, a empresa contém dois níveis em relação aos trabalhadores internos – podendo estes serem especialistas ou não. Sendo assim, o objetivo deste estudo poderia começar a ser concretizado se considerarmos que a alocação das pessoas iria ser feita numa subdivisão de posições: trabalhadores internos, externos e especialistas.

A empresa em questão opera 5 dias por semana, durante 24 horas, havendo 3 turnos de 8 horas cada um por dia.

Para cada um deste tipo de trabalhadores, não seria permitido que o número de dias de férias fosse superior ao número de dias a que têm direito.

Outro fator a considerar é a procura que existe para cada um dos dias/turnos, de forma a ser possível apurar a quantidade de trabalhadores que seriam necessários para que as necessidades da empresa sejam satisfeitas.

Analisando as especificações mencionadas anteriormente no ponto 2.4. do corrente documento, verificamos:

- **Contrato**

- Tempo inteiro: Os trabalhadores desta empresa trabalham todos a tempo inteiro, em turnos de 8 horas.
- Exigência de competências: Uma das vertentes do negócio em estudo exige competências específicas, e por isso foram atribuídos a estas tarefas os trabalhadores especialistas.

- **Tipos de Decisões**

- Tarefas em equipa: No negócio considerado, são desenvolvidas tarefas em equipa.
- Tarefas individuais: São também consideradas tarefas individualizadas.
- Sequência de turnos entre equipas: No negócio em análise existe uma sequência de turnos entre equipas, havendo 3 turnos por dia, de 8 horas cada um.

- **Flexibilidade no que diz respeito a tipos de decisões**
  - Equipas distintas: Existem equipas distintas no que diz respeito ao tipo de trabalhadores exigidos para a execução da tarefa, podendo estes ser tipificados como internos, externos e ainda especialistas.
  - Inícios de turno fixos: Todos os turnos associados ao negócio em análise têm um início de turno fixo.
  - Tempo de turno fixo: Todos os turnos têm uma duração de 8 horas diárias, durante 5 dias por semana.
- **Conhecimentos**
  - Elevado nível de conhecimento: Ainda que sejam distinguidos os tipos de trabalhadores como internos, externos e especialistas, todo o trabalho associado à área de negócio exige um elevado nível de conhecimento da área em questão.
- **Flexibilidade no que diz respeito a pausas e conhecimentos**
  - Hierarquia de competências: Para assinalar a hierarquia de competências, como já mencionado, foram distinguidos os tipos de trabalhadores entre: internos, externos e especialistas.
- **Soluções técnicas**
  - **Programação linear:** A programação linear seria um dos caminhos a seguir para a solução do problema em estudo. A programação linear é um problema de otimização em que a função que se pretende otimizar (função objetivo) é linear e está sujeita a restrições (geralmente inequações lineares) que redefinem o seu domínio.
  - **Programação inteira:** A programação inteira poderia ser também uma das soluções a aplicar para a otimização do modelo em curso. A programação inteira é um modelo de programação linear no qual todas as variáveis do problema pertencem ao conjunto dos números inteiros.
  - **Programação inteira mista:** Outra hipótese seria a utilização de uma programação inteira mista, que consiste num modelo de programação linear no qual algumas das variáveis do problema pertencem ao conjunto dos números inteiros.

- **Branch-and-Price:** Poder-se-ia considerar também o método *Branch-and-Price*, que é um método de otimização para resolver problemas de programação linear inteira (ILP) e programação linear inteira mista (MILP) com muitas variáveis.
- **Heurística construtiva:** Outra opção de solução seria a heurística construtiva. Uma heurística construtiva é um método de otimização que tentam construir uma solução iterativamente.
- **Algoritmo genético:** Por fim, havia também a hipótese de utilizar um algoritmo genético, que consiste num modelo computacional inspirado na evolução, que incorpora uma solução potencial para um problema específico numa estrutura semelhante a de um cromossoma e aplica operadores de seleção e "*cross-over*" a essas estruturas de forma a preservar informações críticas relativas à solução do problema.
- **Incorporação incerta**
  - **Determinística:** No corrente estudo, são definidos 2 tipos de incerteza:
    - Incerteza da procura: a procura pode variar, tanto no geral como individualizada por tipo de trabalhador.
    - Incerteza de capacidade: representa desvios entre o planeado e o real. Exemplo: mão-de-obra (Van den Bergh et al., 2013).
- **Serviços**
  - Gerais
  - Outros
- **Outros serviços**
  - Manufaturação

## 3.2 FORMULAÇÃO DO MODELO

A procura dividiu-se em dois tipos, uma vez que os tipos de trabalho se dividiam como normais e especialistas.

Estes dois parâmetros, Procura para trabalhadores no turno  $s$ , do dia  $d$  ( $D$ ) e Procura para trabalhadores do tipo  $e$ , no turno  $s$ , do dia  $d$  ( $De$ ), são *inputs* dados ao modelo matemático que foi utilizado para a obtenção de soluções.

Aliado à procura, existe um outro parâmetro de entrada que é relevante para o cálculo dos valores a obter: o custo.

O custo foi definido no modelo matemático também com uma subdivisão, tal como a procura, mas mais específica, uma vez que incide sobre as três categorias de trabalhadores que outrora se definiu: internos, externos e especialistas.

Para a formulação do modelo, foram definidos os seguintes índices a serem utilizados:

### Índices:

- $k$  – *Semana*  $k = \{1,2, \dots, 52\}$ ;
- $i$  – *Tipo de trabalhador interno*
- $j$  – *Tipo de trabalhador externo*
- $e$  – *Tipo de trabalhador interno Especialista*
- $d$  – *dias*;  $d = \{1,2,3, \dots, 260\}$ ;
- $t$  – *turnos*; *Para 3 turnos*:  $t = \{1,2,3\}$ ;

O modelo foi formulado para 52 semanas ( $k$ ) e 260 dias ( $d$ ) para cada turno ( $t$ ). O objetivo era alocar os trabalhadores internos ( $i$ ), externos ( $j$ ) e especialistas ( $e$ ) a essa escala de tempo que foi definida.

Estes índices são definidos *à priori* para que se possa facilmente associar as variáveis aos mesmos e assim obter os valores pretendidos.

Seguidamente, foram definidos os parâmetros. Estes valores, previamente mencionados e comentados, são os valores de entrada do modelo matemático.

#### **Parâmetros:**

- $C_s^e$  = Custo diário de um trabalhador com especialidade  $e$  no turno  $t$
- $C_s^i$  = Custo semanal de trabalhadores indiferenciados do tipo  $i$  no turno  $t$
- $C_s^j$  = Custo semanal de trabalhadores indiferenciados do tipo  $j$  no turno  $t$
- $\rho$  = Rácio de trabalhadores internos (tipo  $i + e$ ) para trabalhadores externos (tipo  $j$ )
- $\delta$  = Balanceamento entre os turnos  $t$  dos trabalhadores do tipo  $j$
- $D_{st}^e$  = Procura para trabalhadores do tipo  $e$ , no turno  $s$ , do dia  $d$
- $D_{st}$  = Procura para trabalhadores indiferenciados no turno  $t$ , do dia  $d$ .

Após a definição dos parâmetros, foi possível definir as variáveis de decisão, ou seja, os resultados que se pretendia obter:

#### **Variáveis de decisão:**

- $A_{kt}^e$  = Número de trabalhadores do tipo  $e$ , no turno  $t$ , na semana  $k$
- $A_{kt}$  = Número de trabalhadores indiferenciados, no turno  $t$ , na semana  $k$
- $x_{st}^e$  = Número de trabalhadores do tipo  $e$ , a trabalhar no turno  $t$ , do dia  $d$  (especialidade)
- $x_{st}^i$  = Número de trabalhadores do tipo  $i$ , a trabalhar no turno  $t$ , do dia  $d$  (Internos)
- $x_{st}^j$  = Número de trabalhadores do tipo  $j$ , a trabalhar no turno  $t$ , do dia  $d$  (Outsourcing)
- $\beta_{st}^e$  = Número total de férias do tipo  $e$ , no turno  $s$ , do dia  $d$
- $\beta_{st}^i$  = Número total de férias do tipo  $i$ , no turno  $s$ , do dia  $d$
- $\beta_{st}^j$  = Número total de férias do tipo  $j$ , no turno  $s$ , do dia  $d$ .

Para que a implementação seguisse as especificações exigidas pela empresa em questão, foram criadas restrições que satisfizessem estas mesmas.

Sendo assim, o modelo de programação linear utilizado é o seguinte:

Minimizar:

$$\text{Minimize } z = \sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} (C_t^e x_{td}^e + C_s^i x_{td}^i + C_t^j x_{td}^j) \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$x_{td}^e \geq D_{td}^e \quad \forall t, \forall d \quad (2)$$

$$x_{td}^e + x_{td}^i + x_{td}^j \geq D_{td}^e + D_{td} \quad \forall t, \forall d \quad (3)$$

$$x_{td}^e + \beta_{td}^e \geq A_{tk}^e \quad \forall t, \forall d \quad (4)$$

$$x_{td}^e + x_{td}^i + x_{td}^j + \beta_{td}^e + \beta_{td}^i + \beta_{td}^j \geq A_{tk}^e + A_{tk} \quad \forall t, \forall d \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^3 (x_{td}^e + x_{td}^i) \geq \rho \sum_{t=1}^3 (x_{td}^e + x_{td}^i + x_{td}^j) \quad \forall d \quad (6)$$

$$\sum_{d=1}^{260} x_{td}^i \geq \delta \sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} x_{td}^i / 3 \quad \forall t \quad (7)$$

$$\sum_{d=1}^{260} x_{td}^j \leq \delta \sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} x_{td}^j / 3 \quad \forall t \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} \beta_{td}^e \leq \sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} x_{td}^e / 10 \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} \beta_{td}^i \leq \sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} x_{td}^i / 10 \quad (10)$$

$$\sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} \beta_{td}^j \leq \sum_{t=1}^3 \sum_{d=1}^{260} x_{td}^j / 10 \quad (11)$$

$$x_{td}^e, x_{td}^i, x_{td}^j, A_{kt}^e, A_{kt}, \beta_{td}^e, \beta_{st}^i, \beta_{td}^j \geq 0 \text{ e inteiras} \quad (12)$$

A função objetivo do modelo apresentado minimiza o custo dos trabalhadores, do tipo  $i$  e do tipo  $j$  (1). Perante os resultados, é necessário garantir que as necessidades gerais são satisfeitas. Para isso, é necessário que os trabalhadores do tipo  $e$ , a trabalhar no turno  $s$ , do dia  $d$  seja maior ou igual à procura que se verifica para este mesmo tipo de trabalhadores (2), bem como é necessário que o total de trabalhadores do tipo  $i$  e  $j$ , a trabalhar no turno  $t$ , do dia  $d$  seja maior ou igual à procura verificada para os trabalhadores indiferenciados (3).

Foi também necessário garantir que o número de trabalhadores contratados é constante em cada semana. Para isso, garantiu-se que a soma do número de trabalhadores do tipo  $e$ , no turno  $t$  e no dia  $d$  e do total de férias dos trabalhadores tipo  $e$  não deveria ser menor ou igual ao valor do número de trabalhadores do tipo  $e$ , no turno  $s$ , na semana  $k$  (4). Da mesma forma que se garantiu a condição anteriormente mencionada, definiu-se que a soma do número de trabalhadores do tipo  $i$ , no turno  $t$  e no dia  $d$  e do total de férias dos trabalhadores tipo  $i$  mais a soma do número de trabalhadores do tipo  $j$ , no turno  $t$  e no dia  $d$  e do total de férias dos trabalhadores tipo  $j$  não deveria ser menor ou igual ao valor da soma do número de trabalhadores do tipo  $i$ , no turno  $t$ , na semana  $k$  com o número de trabalhadores do tipo  $j$ , no turno  $s$ , na semana  $k$  (5).

É também essencial garantir que o número total de trabalhadores internos é, pelo menos, uma determinada percentagem do total dos trabalhadores. Sendo assim foi definido um

parâmetro ( $\rho$ ) que indica essa mesma percentagem à qual devem corresponder o total dos trabalhadores do tipo  $i$ . É possível verificar esta restrição através da equação (6).

Foi também definido um parâmetro ( $\delta$ ) que determina o balanceamento entre os turnos e os trabalhadores externos. Este parâmetro é imprescindível para condicionar o modelo para que os valores das presenças em cada turno não difiram mais do que o necessário nesse mesmo turno. Desta forma, foram criadas duas restrições, para os trabalhadores internos (7) e externos (8) que garantem que o número de trabalhadores é menor ou igual que o valor de  $\delta$  multiplicado pelo número de trabalhadores a dividir pelo número de turnos.

A penúltima condicionante incide sobre o número de dias de férias, que não pode exceder o permitido. Posto isto, foram aplicadas restrições aos trabalhadores especialistas (9), internos (10) e externos (11), para que o total das férias dos trabalhadores seja sempre menor ao número de dias a que os trabalhadores têm direito.

Por fim, define-se que todas as variáveis de decisão deverão ser positivas e inteiras (12).



# 4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS

## 4.1 TESTES COMPUTACIONAIS

Após a formulação do modelo, o mesmo foi implementado na ferramenta IBM LOG CPLEX *Optimization Studio* Versão 12.7.1.0. Esta ferramenta foi executada a partir de um Portátil *Lenovo B50*, com as seguintes especificações:

- Processador: Intel® Core™ i5-4210U CPU @ 1.70GHz 2.40 GHz
- Tipo de sistema: 64-bit *Operating System, x64-based processor*

- RAM: 8,00 GB

## 4.2 PROBLEMAS DE TESTE

A formulação do modelo matemático foi feita em conformidade com alguns dados gerados aleatoriamente com base na realidade de uma empresa, a qual não disponibilizou os dados para teste. Dada a inexistência dos dados, e como já mencionado anteriormente, foram gerados dados de forma aleatória que fossem de encontro à realidade pretendida.

Os dados que foram gerados aleatoriamente foram os dados referentes à procura atribuída ao tipo de trabalhadores indiferenciados e especialistas. Sendo assim, a procura dos trabalhadores indiferenciados foi gerada aleatoriamente durante 260 dias, com intervalos fixos de 15 (mínimo) e 30 (máximo) trabalhadores indiferenciados. A procura dos trabalhadores especialistas, da mesma forma, foi gerada aleatoriamente durante 260 dias, com intervalos fixos de 2 (mínimo) e 4 (máximo) trabalhadores especialistas.

Os dados utilizados para o teste deste modelo são dados referentes à realidade de uma empresa específica, na qual se baseia todo o projeto.

Sendo assim, estes valores, que foram obtidos a partir da realidade que tem vindo a ser referida ao longo do documento, são um *input* fixo no modelo matemático que foi desenvolvido. Os diferentes valores do custo encontram-se enunciados na Tabela 1.

Tabela 1: Custo por tipo de trabalhador, em cada turno.

	Custo diário de um trabalhador especialista ( $C_e$ )	Custo semanal de trabalhadores internos ( $C_i$ )	Custo semanal de trabalhadores externos ( $C_j$ )
1º Turno	8,20	6,15	5,125
2º Turno	8,00	6,00	5,00
3º Turno	10,00	7,50	6,25

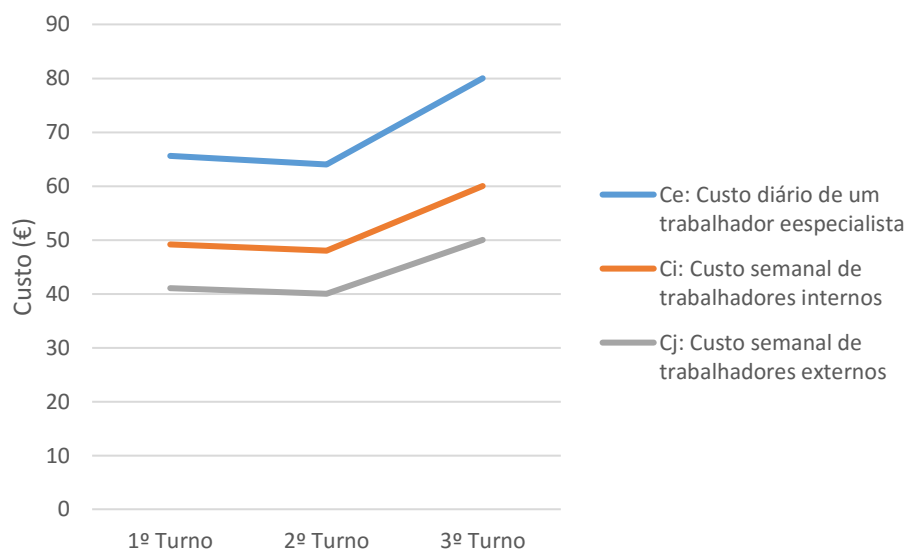


Figura 1: Variação de Custo por Tipo de Trabalhador e por Turno

A partir da análise da Figura 1 é possível verificar que o maior custo é alocado aos trabalhadores especialistas, e o menor é alocado aos trabalhadores externos. É também possível concluir que os custos aumentam substancialmente para todos os tipos de trabalhadores durante o 3º turno, que se pressupõe como sendo noturno e, por isso, melhor remunerado.

Através do ficheiro com extensão DAT que acompanha o modelo foram integrados os parâmetros de entrada do modelo e foi também criado um automatismo que preenche um ficheiro de Excel preparado para o modelo em questão. No ficheiro criado para a ocasião, foi validada a satisfação das especificações.

Relacionando um ficheiro DAT, foi possível gerar o modelo matemático para várias instâncias. Estas foram geradas aleatoriamente com base nos dados reais, através da função de Excel RAND. Para a utilização desta função delimitou-se que os intervalos entre os quais as variáveis de procura de trabalhadores indiferenciados ( $D$ ) e de trabalhadores especialistas ( $De$ ) podiam variar, consoante aquilo que se achou razoável perante o problema. Sendo assim, para os valores de procura de trabalhadores indiferenciados, definiu-se que o valor poderia variar aleatoriamente entre 15 e 30, enquanto para os valores de procura de trabalhadores especialistas os valores poderiam variar

aleatoriamente entre 2 e 4 trabalhadores. Desta forma, geraram-se 10 instâncias que serviram de base para os testes feitos relativamente ao modelo.

Ainda relativamente às mesmas instâncias, apresenta-se a tabela seguinte, onde são demonstrados os tipos dos dados (inteiros ou decimais), o tempo de execução do modelo, o valor da função objetivo e a percentagem a que a solução está da solução ótima (GAP).

Tabela 2: Comparação dos valores obtidos após a execução do modelo criado para 10 instâncias geradas aleatoriamente, para valores inteiros e decimais.

Instância	Execução para modelo de Programação Inteira			Execução para modelo de Programação Relaxada		Diferença Percentual (%)	Diferença em Valor (€)
	Função Objetivo (€)	Tempo de Execução (segundos)	GAP (%)	Função Objetivo (€)	Tempo de Execução (segundos)		
1	1 058 457,40	265,29	0	1 058 244,83	19,37	99,97992	212,57
2	1 050 446,60	620,21	0,01	1 050 215,71	19,09	99,97802	230,89
3	1 060 019,80	618,70	0,01	1 059 819,87	18,62	99,98114	199,93
4	1 053 981,40	276,32	0	1 053 765,13	17,37	99,97948	216,27
5	1 060 267,40	81,30	0	1 060 057,22	16,48	99,98018	210,18
6	1 065 045,20	254,71	0	1 064 860,86	15,97	99,98269	184,34
7	1 060 104,00	212,41	0	1 059 956,05	16,62	99,98604	147,95
8	1 058 766,00	354,14	0	1 058 553,67	17,12	99,97995	212,33
9	1 061 448,20	337,55	0	1 061 218,45	17,92	99,97836	229,75
10	1 057 484,00	72,95	0	1 057 266,65	5,17	99,97945	217,35

Como é possível analisar através da tabela acima verificada, todas as instâncias foram executadas para a obtenção de resultados para a execução do modelo de programação

inteira e programação relaxada, sendo que o modelo de programação inteira devolve apenas valores inteiros e, por este motivo, apresenta tempos de execução mais extensos devido à existência de uma maior dificuldade em encontrar valores inteiros do que valores decimais, que neste caso não fariam sentido uma vez que estamos a falar de trabalhadores, considerando-os unidades inteiras.

No caso dos valores decimais, o tempo de execução, como podemos verificar, encontra-se bastante baixo, uma vez que é praticamente imediato encontrar valores não inteiros que satisfaçam as especificações impostas.

No caso dos valores inteiros, alguns dos modelos tinham tempos de execução muito extensos. Disso são caso as instâncias 2 e 3. O problema encontrado teve por base o facto de o programa não encontrar um valor atribuído à solução ótima, continuando constantemente à procura dessa solução. Por este motivo foi imposto um limite de tempo de execução de 600 segundos para que fosse possível existir um valor final, mesmo que não fosse a solução ótima. No entanto, todos os valores de GAP que foram obtidos são muito próximos de 0% e, por essa razão, os valores obtidos estão todos próximos da solução ótima.

Através da análise da Tabela 2, verificamos que o valor de função objetivo mais baixo que obtivemos foi de 1 050 446,60 €. No entanto, é de salientar que os valores de procura variam entre as instâncias e que por esse motivo os valores de função objetivo acabam por variar.

### 4.3 ROBUSTEZ DO MODELO

A robustez do modelo é avaliada através da proximidade dos valores que são obtidos através do modelo normal e do modelo relaxado.

A partir da Tabela 2 do corrente documento, é possível verificar as diferenças entre os valores obtidos através do modelo no seu formato normal (números inteiros) e no seu formato relaxado (números decimais).

Comparando os valores obtidos em cada uma das instâncias para cada um dos formatos, obtemos o gráfico da Figura 2.

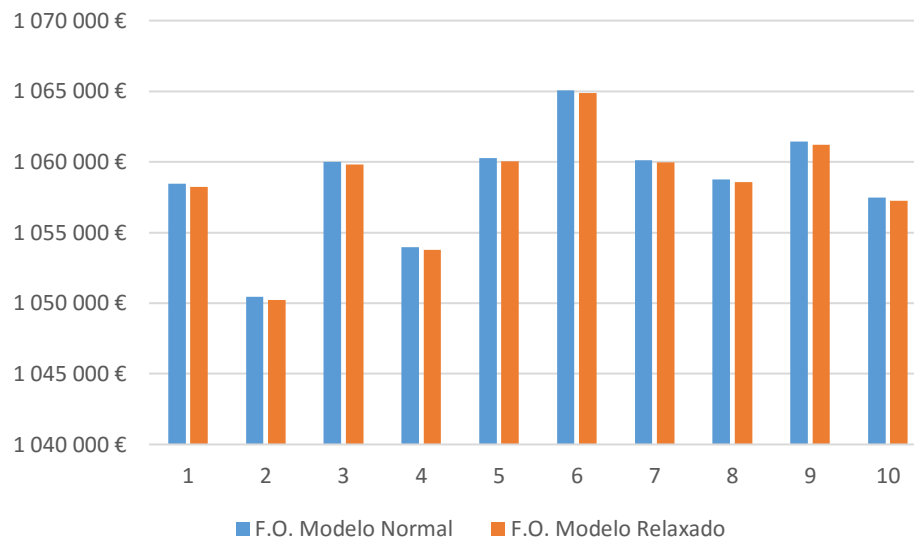


Figura 2: Comparação dos valores obtidos em cada uma das instâncias para cada um dos formatos: normal e relaxado.

A partir do gráfico da Figura 2 é possível verificar a robustez do modelo e a adaptabilidade a diferentes dados de procura para os trabalhadores em análise, uma vez que os valores da função objetivos para ambos os casos apresentam diferenças mínimas, que se assumem como irrisórias na corrente análise.

#### 4.4 ANÁLISE DE RESULTADOS INDIVIDUAIS

De forma a analisarmos os resultados de forma mais profunda, decidimos explorar uma das instâncias que foram obtidas.

Tal como mencionado anteriormente, a Procura para trabalhadores no turno  $s$ , do dia  $t$  ( $D$ ) e Procura para trabalhadores do tipo  $e$ , no turno  $t$ , do dia  $d$  ( $De$ ), são *inputs* dados ao modelo matemático que foi utilizado para a obtenção dos valores.

Sendo assim, para a instância em análise, a variação da procura, tanto dos trabalhadores indiferenciados como dos trabalhadores especialistas, encontra-se espelhada na Figura 3.

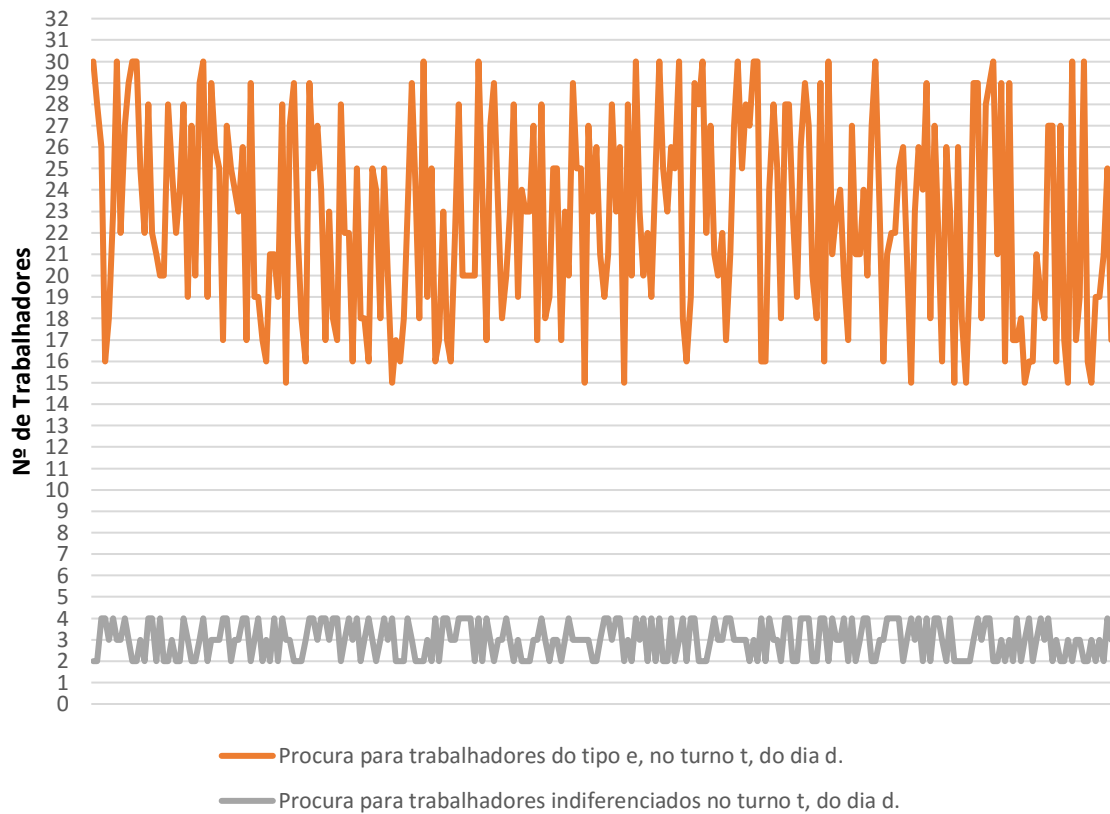


Figura 3: Variação entre a procura para os trabalhadores indiferenciados e trabalhadores especialistas

A Figura 3 ilustra a variação entre a procura para os trabalhadores indiferenciados e trabalhadores especialistas ao longo de apenas um dos turnos, por dia. A ilustração incide apenas sobre um dos turnos para manter possível a legibilidade do gráfico.

Sendo assim, é possível verificar que a procura para os trabalhadores do tipo *e* é bastante mais significativa e variável do que a procura verificada para os trabalhadores indiferenciados (ou seja, internos e externos, sem especialidade). Este fato evidencia a necessidade de existência de um elevado nível de conhecimento no caso em estudo.

Para a instância em análise, foram obtidos os valores necessários para o cálculo da função objetivo, enunciados na Tabela 3. A partir destes dados é possível verificar os diferentes valores de trabalhadores internos, externos e especialistas para cada um dos turnos.

Tabela 3: Valores utilizados para o cálculo da função objetivo

	$C_e$	$\sum x_e$	$C_i$	$\sum x_i$	$C_j$	$\sum x_j$
<b>1º Turno</b>	65,6	900	49,2	1232	41	4895
<b>2º Turno</b>	64	1015	48	1426	40	5594
<b>3º Turno</b>	80	799	60	1232	50	4862

Os totais de cada um dos turnos para cada categoria de trabalhadores está espelhada em cada uma das colunas, subdividida pelos respectivos turnos.

Mediante o número de trabalhadores por cada categoria, foi também apurado o número total de férias que os diferentes tipos de trabalhadores poderiam ter, consoante a procura.

No gráfico da Figura 4 é possível verificar o balanço entre o número de trabalhadores internos a trabalhar e o número de trabalhadores internos de férias no mesmo dia de análise e no primeiro turno do dia. Foi retirada uma amostra de 20 dias para todas as ilustrações referentes às férias dos trabalhadores de forma a manter legível a apresentação dos gráficos.

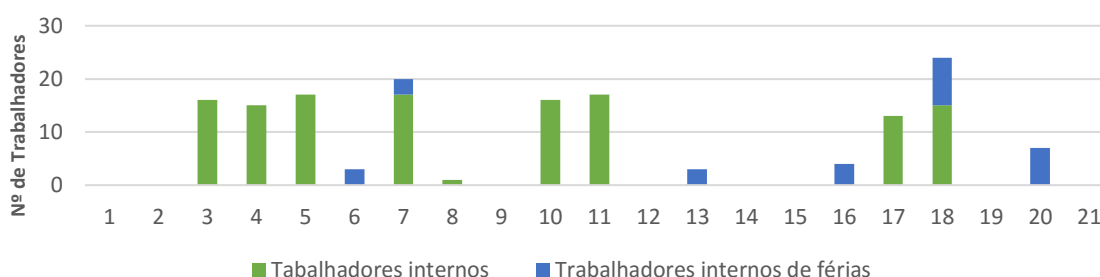


Figura 4: Trabalhadores Internos vs. Férias - Turno 1

A mesma análise foi feita para o segundo turno do dia, como se pode verificar a partir do gráfico da Figura 5.

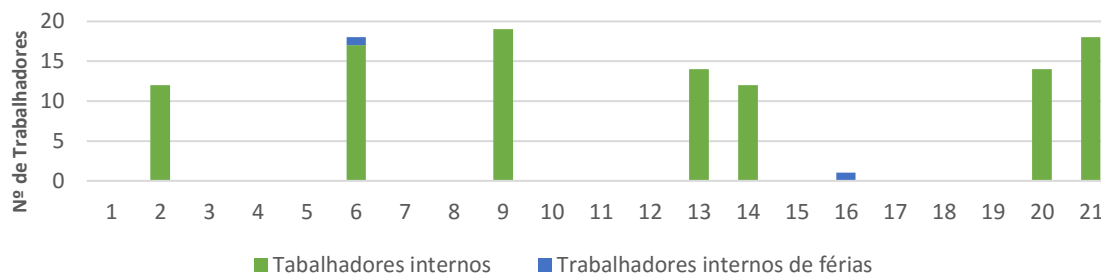


Figura 5: Trabalhadores Internos vs. Férias - Turno 2

Da mesma forma, é possível verificar a análise anteriormente feita para o terceiro turno na Figura 6. A partir deste gráfico verificamos que o terceiro turno é aquele que permite a existência de mais trabalhadores de férias, dada a procura no terceiro turno não ser tão significativa.

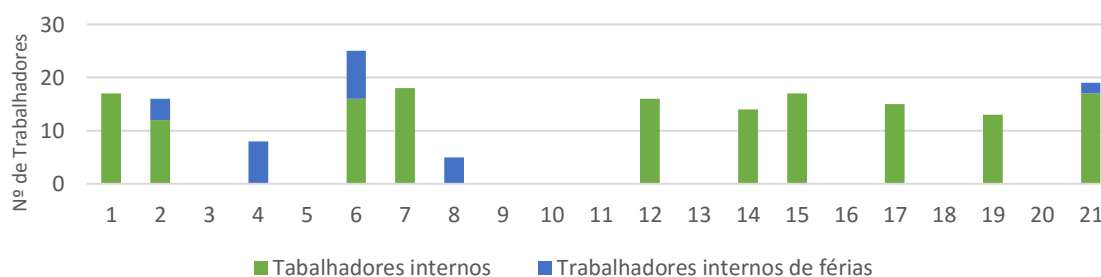


Figura 6: Trabalhadores Internos vs. Férias - Turno 3

A mesma análise reflete-se seguidamente para o tipo de trabalhadores externos.

A partir do gráfico da figura 6, é possível verificar o balanço entre o número de trabalhadores externos a trabalhar e o número de trabalhadores externos de férias no mesmo dia de análise.

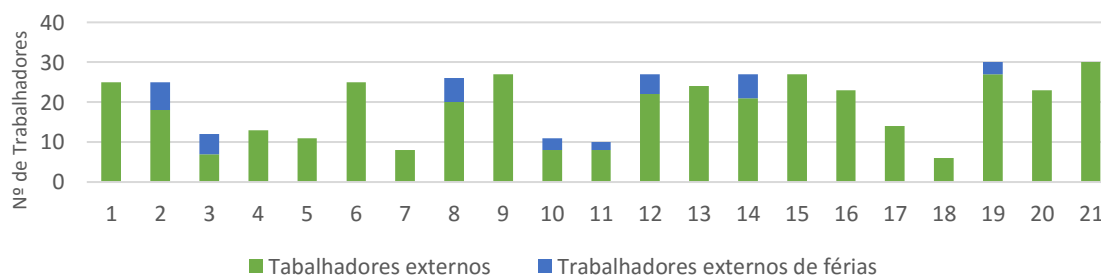


Figura 7: Trabalhadores Externos vs. Férias - Turno 1

A mesma análise foi feita para o segundo turno do dia, como se pode verificar a partir do gráfico da Figura 8.



Figura 8: Trabalhadores Externos vs. Férias - Turno 2

Equitativamente, é possível verificar a análise precedentemente feita para o terceiro turno na Figura 9. A partir deste gráfico verificamos que, à luz dos resultados para o tipo de trabalhadores internos, o terceiro turno é aquele que permite que hajam mais trabalhadores de férias, dada a procura no terceiro turno ser bastante menos significativa.

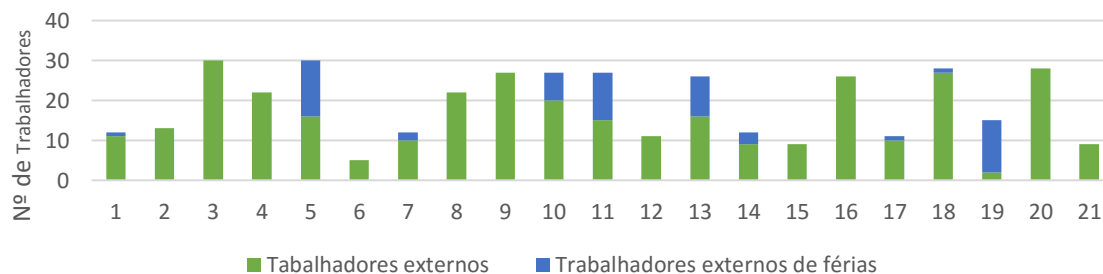


Figura 9: Trabalhadores Externos vs. Férias - Turno 3

No mesmo formato de dados, o gráfico da Figura 10 demonstra o número de trabalhadores especialistas a trabalhar e o número de trabalhadores especialistas de férias no mesmo dia de análise.

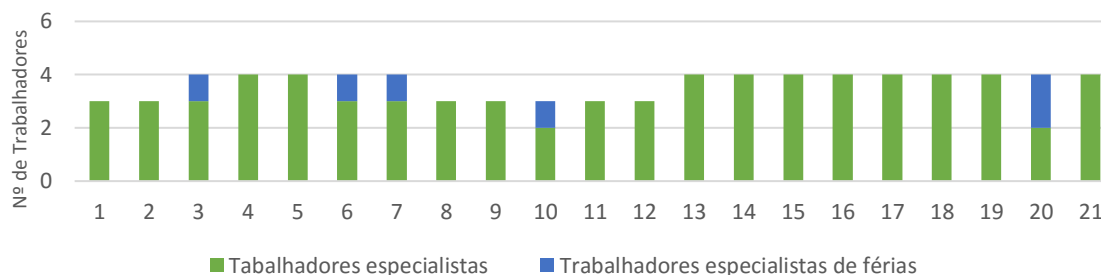


Figura 10: Trabalhadores Especialistas vs. Férias - Turno 1

A mesma investigação foi feita para o segundo turno do dia, como se pode confirmar a partir do gráfico da Figura 11.

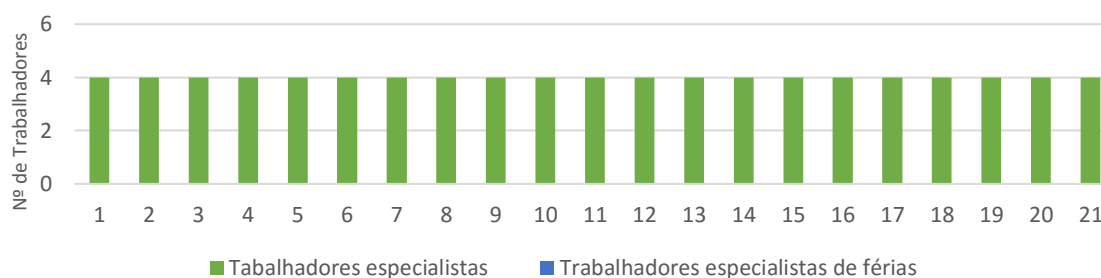


Figura 11: Trabalhadores Especialistas vs. Férias - Turno 2

Tal como nos casos anteriormente analisados, é possível verificar a observação previamente feita para o terceiro turno na Figura 12. A partir deste gráfico verificamos que em todos os turnos é possível verificar um padrão no que toca ao número de trabalhadores especialistas e às férias dos mesmos. Da mesma forma que os resultados anteriores, o terceiro turno volta a ser aquele que possibilita que hajam mais trabalhadores de férias, dada a procura no terceiro turno ser bastante menos significativa.

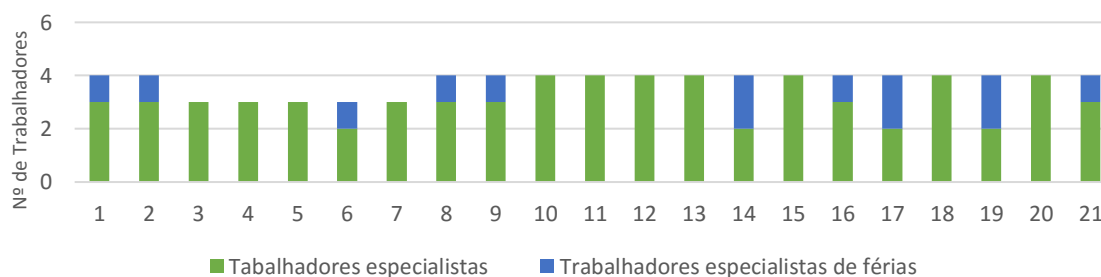


Figura 12: Trabalhadores Especialistas vs. Férias - Turno 3

Analisando os resultados referentes ao número total de trabalhadores das diferentes categorias por semana, verificamos os gráficos das Figura 13, Figura 14 e Figura 15, onde é possível verificar que para o tipo de trabalhadores indiferenciados (interno ou externo) – variável  $A$  – o valor varia entre os 15 e os 30 de forma inconstante. Em contrapartida, o número de trabalhadores especialistas por semana verifica-se constante mas bastante menor, sendo sempre menor do que 5.

Para o primeiro turno, a variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas é demonstrada através da Figura 13.

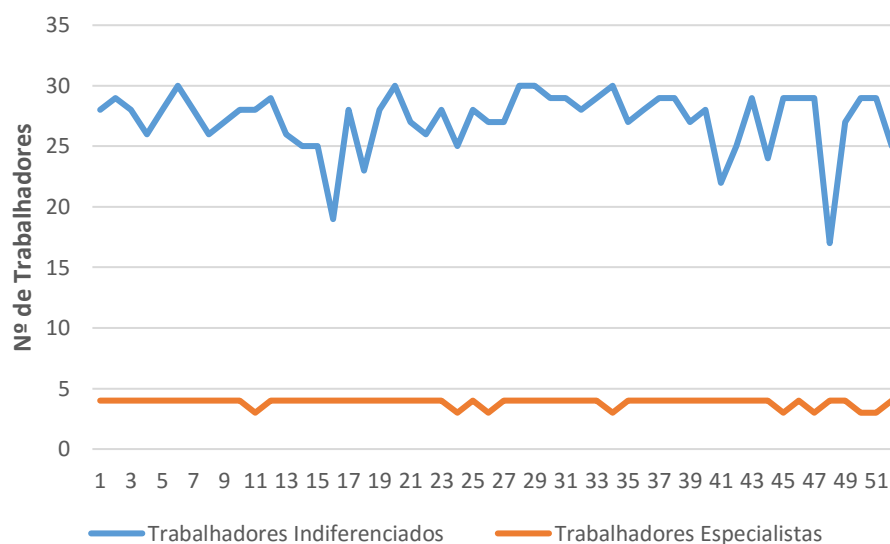


Figura 13: Variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas – Turno 1

Para o segundo turno, a variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas é demonstrada através da Figura 14.

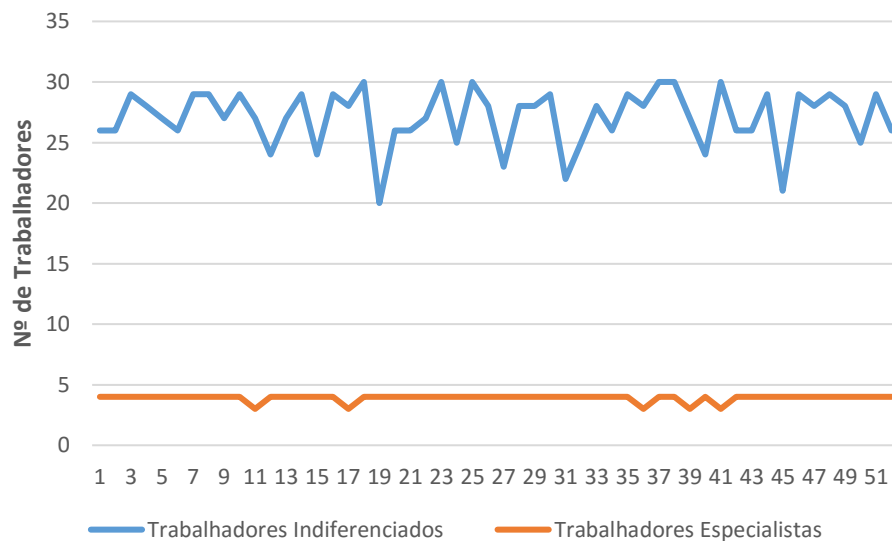


Figura 14: Variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas – Turno 2

Por fim, para o terceiro turno, a variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas é demonstrada através da Figura 15.

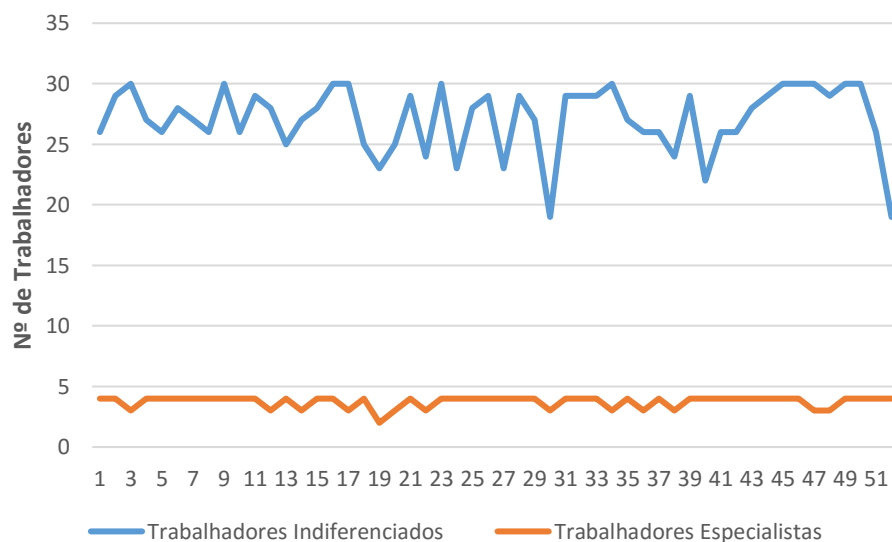


Figura 15: Variação entre trabalhadores indiferenciados e especialistas – Turno 3

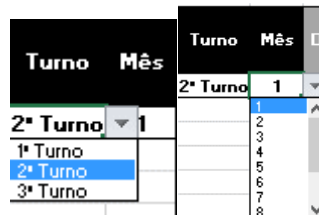
## 4.5 FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

De forma a converter o trabalho feito numa utilidade para o futuro da empresa em questão, foi desenvolvida uma pequena ferramenta de apoio à decisão em Excel que permite ao gestor de escalonamento de pessoal fazer um rápido planeamento do número de trabalhadores necessários para a satisfação da procura e minimização de custos.

Sendo assim, o planeamento foi abordado em duas perspetivas:

- Planeamento mensal do turno
- Planeamento mensal de trabalhadores

Para o planeamento mensal do turno foi criada uma tabela onde o utilizador pode seleccionar o turno pretendido e o mês correspondente do ano que está a ser planeado, após terem sido obtidos os valores a partir do modelo matemático desenvolvido para o efeito.



Turno	Mês	Turno	Mês	D
2º Turno	1	2º Turno	1	1
1º Turno				2
2º Turno				3
3º Turno				4
				5
				6
				7
				8

Figura 16: Filtros a seleccionar na ferramenta de apoio à decisão – Planeamento Mensal de Turno

Após seleccionar os dados pretendidos, é possível verificar na tabela todos os dados que foram apurados para o período de tempo seleccionado, bem como para o turno. É possível ainda analisar gráficos correspondentes a cada uma das semanas do mês que foi seleccionado.

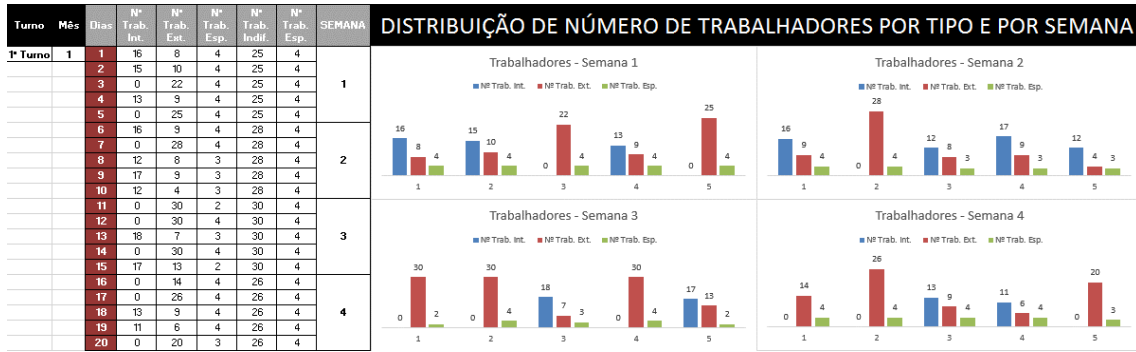


Figura 17: Planejamento Mensal do Turno 1, Mês 1

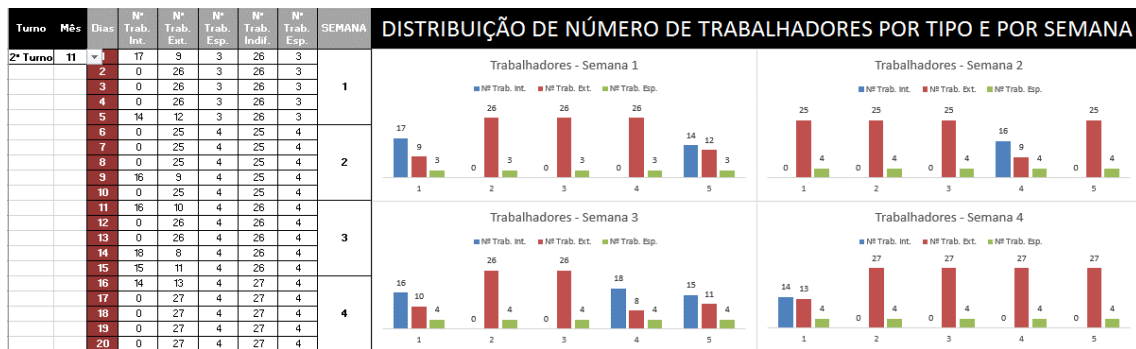


Figura 18: Planejamento Mensal do Turno 2, Mês 11

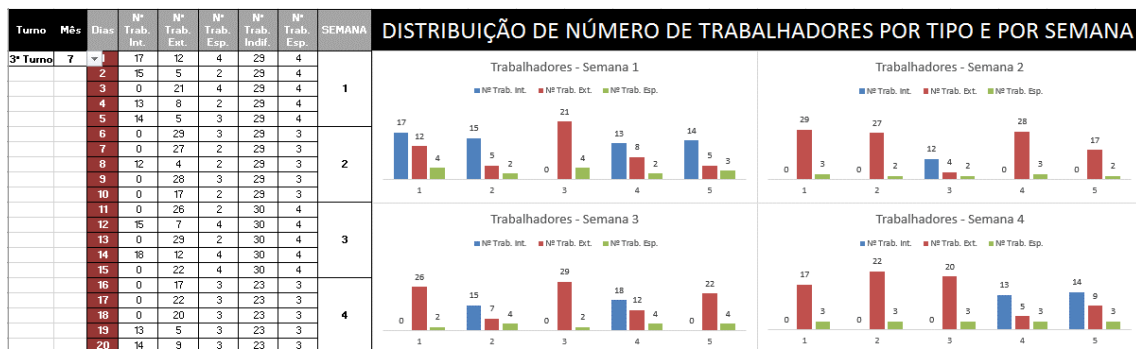


Figura 19: Planejamento Mensal do Turno 3 - Mês 7

Para o planejamento mensal de trabalhadores foi criada uma tabela onde o utilizador pode selecionar o mês que se pretende planear, após terem sido obtidos os valores a partir do modelo matemático desenvolvido para o efeito.



Figura 20: Filtros a selecionar na ferramenta de apoio à decisão – Planeamento mensal de trabalhadores

Após selecionar os dados pretendidos, é possível verificar na tabela todos os dados que foram apurados para o período de tempo selecionado. É possível ainda analisar gráficos correspondentes a cada um dos turnos para o mês que foi selecionado.

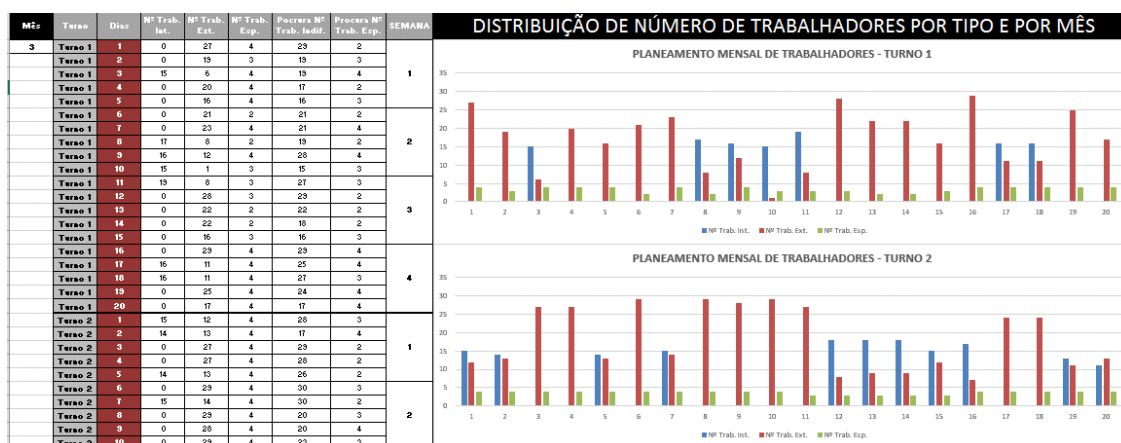


Figura 21: Aspeto geral da ferramenta de apoio à decisão – Planeamento mensal de trabalhadores

Os gráficos que são fruto desta ferramenta, no caso de seleção do mês 1, encontram-se ilustrados na Figura 22, Figura 23 e Figura 24.

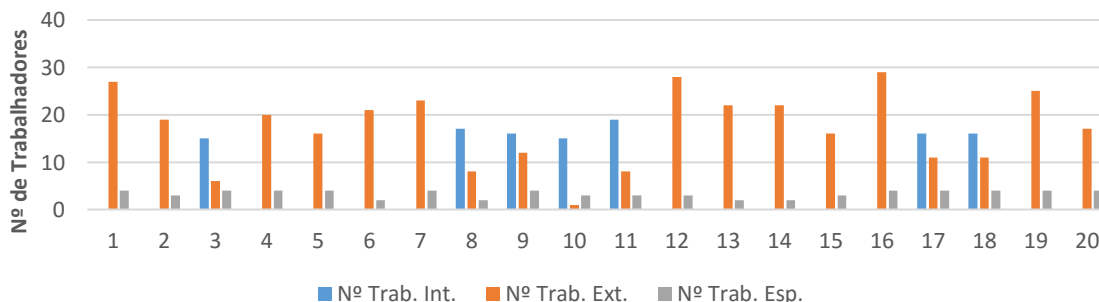


Figura 22: Planeamento Mensal de Trabalhadores – Turno 1 - Mês 1

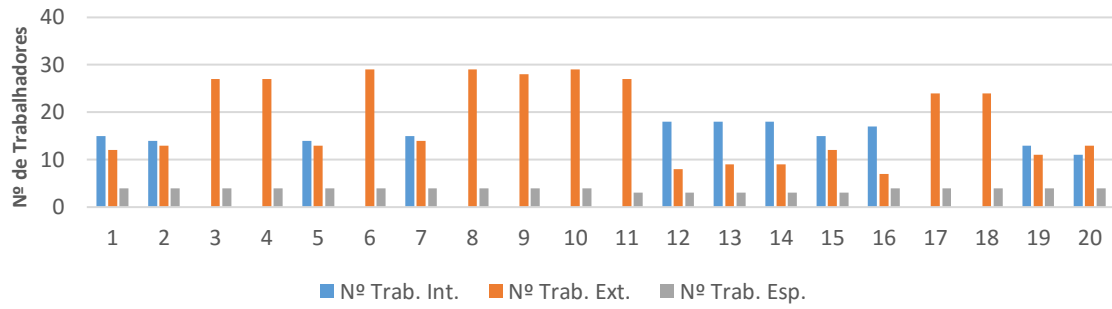


Figura 23: Planeamento Mensal de Trabalhadores – Turno 2 - Mês 1

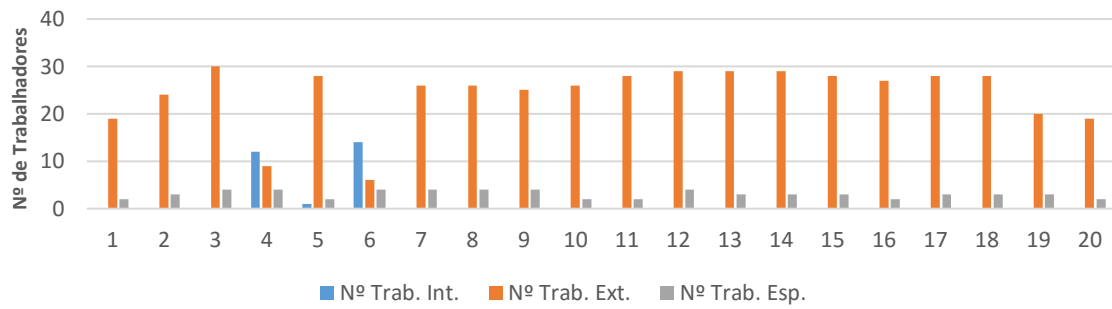


Figura 24: Planeamento Mensal de Trabalhadores – Turno 3 - Mês 1



## 5. CONCLUSÕES

O estudo concluído permitiu verificar se existe efetivamente uma forma bastante eficiente de fazer o planeamento do escalonamento do pessoal, em qualquer área de negócio, e especialmente na área de negócio que foi analisada no presente documento.

Como limitação, deve salientar-se a não disponibilização pela empresa para a qual foi direcionada este estudo, pois se os valores fossem reais, o modelo teria muito mais utilidade.

A partir da análise da revisão da literatura feita em relação ao escalonamento de pessoal, foi possível criar um método de fácil adaptação capaz de relacionar quais os artigos existentes que melhor se enquadram na realidade que se pretende estudar, sendo este

ponto de partida muito importante para o encaminhamento do estudo e proposto como norma a adotar na execução de um estudo deste género.

Através dos resultados concluiu-se que é possível obter um valor mínimo de custo consoante alguns dados de entrada que são utilizados como parâmetros para o modelo matemático em questão apresentado ao longo deste estudo. Sendo assim, é seguro afirmar que o tempo de mão-de-obra manual que é necessária para este planeamento é bastante reduzido através da utilização do processo desenvolvido no decorrer deste estudo.

Por fim, e com a ajuda das ferramentas de apoio à decisão desenvolvidas para a ocasião, cada gestor é capaz de em poucos minutos fazer um planeamento mensal dos números de tipos de trabalhadores necessárias para colmatar valores de procura dados.

Relativamente aos resultados obtidos, estes revelaram-se muito positivos, uma vez que foi criado um modelo matemático com base em dados simples e que promove a facilidade na gestão do planeamento temporal do pessoal e na medida que foi possível obter aquilo que era o nosso objetivo principal: otimização e automatização do planeamento de escalonamento de pessoal numa empresa de *outsourcing* industrial, com a minimização de custos.

## REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- Alfares, H. K. (2004). *Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling*. Annals of Operations Research,.
- Baker, K. R. (1976). *Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey*. Operational Research Quarterly.
- Bard, J. F. (2003). *Staff Scheduling in High Volume Service Facilities with Downgrading*. Institute of International Education.
- Bard, J. F. (2004). Selecting the appropriate input data set when configuring a permanent workforce. *Computers & Industrial Engineering*.
- Bard, J. F., & Purnomo, H. W. . (2005). Preference scheduling for nurses using column generation. *European Journal of Operational Research*.
- Bechtold, S. E., Brusco, M. J., & Showalter, M. J. (1991). *Comparative-Evaluation of Labor*. Decision Sciences,.
- Beliën, J., & Forcé, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*.
- Billionnet, A. (1999). Integer programming to schedule a hierarchical workforce. *European Journal of Operational Research* .
- Brucker, P., Burke, E. K., Curtois, T., Qu, R., & Vanden Berghe, G. . (2010). A shift sequence based approach for nurse scheduling and a new benchmark dataset. *Journal of Heuristics*.
- Burke, E. K., De Causmaecker, P., Vanden Berghe, G., & Van Landeghem, H. (2004). *The state of the art of nurse rostering*. Journal of Scheduling.

- Cardoen, B., Demeulemeester, E., & Beliën, J. . (2010). Operating room planning and scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*.
- Dawid Herbert, Johannes König, Christine Strauss. (2001). *An Enhanced Rostering Model for Airline Crews*. Computers and Operations Research.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). *Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models*. European Journal of Operational Research.
- Gunther, M., & Nissen, V. (2010). Combined Working Time Model Generation and Personnel Scheduling. Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics. *Business Information Processing*.
- Hamilton Emmons, Richard N. Burns. (1991). *Off-day Scheduling with Hierarchical Worker Categories*. Ohio: Department of Operations Research Case Western Reserve University Cleveland.
- Jonathan F. Bard, Lin Wan. (2006). *The task assignment problem for unrestricted movement between workstation groups*. National Science Foundation.
- Jorne Van den Bergh, Jeroen Beliën, Philippe De Bruecker, Erik Demeulemeester. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*.
- Thompson, G. M. (1998). *Labor Scheduling*. Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly.
- Tien, J. M., & Kamiyama, A. (1982). *On Manpower Scheduling Algorithms*. Siam Review.
- Topaloglu, S., & Ozkarahan, I. (2004). An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences. *Annals of Operations Research*.
- White, C. A., Nano, E., Nguyen-Ngoc, D. H., & White, G. M. (2007). An evaluation of certain heuristic optimization algorithms in scheduling medical doctors and medical

students. *International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling.*

## Anexo A. Relação entre os artigos e as especificações do estudo

Neste anexo consta a tabela que foi fruto do relacionamento dos artigos utilizados em Van den Bergh, Beliën, De Bruecker, e Demeulemeester (2013) para a obtenção dos artigos mais relevantes com base nas especificações do estudo.



Akbari, M., Zandieh, M., & Dorri, B. (2012).		X				X	X	X	X									X					7	
Akjiratikarl, C., Yenradee, P., & Drake, P. R. (2007).	X			X				X	X									X					5	
Aksin, Z. N., Armony, M., & Mehrotra, V. (2007).																							0	
Al-Yakoob, S. M., & Sherali, H. D. (2007).	X					X	X	X	X					X				X				X	8	
Al-Yakoob, S. M., & Sherali, H. D. (2007).	X	X				X	X	X	X					X	X			X					10	
Al-Yakoob, S. M., & Sherali, H. D. (2008).	X					X	X	X	X									X				X	7	
Alfares, H. K. (2004).																							0	
Alfares, H. K. (2006).	X								X					X				X					4	
Alfares, H. K. (2007).	X							X	X		X			X									5	
Alfares, H. K. (2007).	X			X				X		X												X	5	
Alfieri, A., Kroon, L., & van de Velde, S. (2007).	X			X				X		X						X		X					6	
Alsheddy, A., & Tsang, E. P. K. (2011).	X	X		X					X		X										X		6	
Asensio-Cuesta, S., Diego-Mas, J. A., Canos-Daros, L., & Andres-Romano, C. (2012)	X			X				X										X	X			X	6	
Ásgeirsson, E. (2012).	X								X							X		X					4	
Atlason, J., Epelman, M. A., & Henderson, S. G. (2004).	X							X						X									3	
Atlason, J., Epelman, M. A., & Henderson, S. G. (2008).	X	X						X	X		X			X									6	
Avramidis, A. N., Chan, W., Gendreau, M., L'Ecuyer, P., & Pisacane, O. (2010).	X	X						X		X				X									5	
Avramidis, A. N., Chan, W., & L'Ecuyer, P. (2009).	X	X						X		X				X									5	
Avramidis, A. N., Gendreau, M., L'Ecuyer, P., & Pisacane, O. (2007).	X	X						X		X				X									5	
Awadallah, M., Khader, A., Al-Betar, M., & Bolaji, A. (2011).	X	X						X	X	X											X		6	
Azaiez, M. N., & Al Sharif, S. S. (2005).	X	X						X	X	X	X			X	X						X		9	
Azmat, C. S., Hurlimann, T., & Widmer, M. (2004).	X							X		X				X							X		X	6
Azmat, C. S., & Widmer, M. (2004).	X							X		X						X		X				X	6	
Bagatourova, O., & Mallya, S. K. (2004)	X							X	X							X					X		5	
Bai, R., Burke, E. K., Kendall, G., Li, J., & McCollum, B. (2010).	X	X						X	X	X	X							X	X				11	











Hojati, M. (2010).	X	X					X	X			X					X	X					7	
Hojati, M., & Patil, A. S. (2011).		X						X		X	X					X	X	X					7
Horn, M., Jiang, H., & Kilby, P. (2007).	X		X		X			X					X				X		X				7
Hung-Tso, L., Yen-Ting, C., Tsung-Yu, C., & Yi-Chun, L. (2012).	X	X					X	X	X							X	X	X					8
Hung, R. (1996).																							0
Hung, R. (2006).	X							X		X							X	X					5
Hurkens, C. A. J. (2009).	X	X		X				X		X	X			X	X		X						9
Ikegami, A., & Uno, A. (2007).	X			X		X	X	X					X				X						7
Ingolfsson, A., Campello, F., Wu, X., & Cabral, E. (2010).	X							X						X									3
Isken, M. W. (2004).	X						X	X						X			X						5
Jarray, F. (2005).	X							X		X				X			X						5
Jarray, F. (2009).	X							X		X				X			X						5
Joubert, J. W., & Conradie, D. G. (2005).	X							X						X									3
Judice, J., Martins, P., & Nunes, J. (2005).	X							X	X		X			X			X	X					7
Kabak, O., Uelengin, F., Aktas, E., Onsel, S., & Topcu, Y. I. (2008).	X							X						X									3
Kaluzny, B. L., & Hill, A. (2011).	X								X					X			X						4
Kellogg, D. L., & Walczak, S. (2007).																							0
Knust, S., & Schumacher, E. (2011).	X	X						X		X	X			X			X						7
Koeleman, P. M., Bhulai, S., & van Meersbergen, M. (2012).	X			X				X													X		4
Kohl, N., & Karisch, S. E. (2004).																							0
Kolisch, R., & Heimerl, C. (2012).	X	X		X				X			X	X					X		X				8
Krishnamoorthy, M., Ernst, A. T., & Baatar, D. (2012).	X	X		X		X	X	X			X						X						8
Kyngäs, N., Goossens, D., Nurmi, K., & Kyngäs, J. (2012).	X								X								X				X		4
Laguna, M., Casado, S., & Pacheco, J. (2005).	X					X	X										X						4
Laguna, M., & Wubbena, T. (2005).	X	X		X				X			X					X	X		X				8
Laporte, G., & Pesant, G. (2004).	X					X	X	X									X						5

Lentink, R. M., Freling, R., & Wagelmans, A. P. M. (2004).	X	X		X							X				X		X						6
Lezaun, M., Perez, G., & de la Maza, E. S. (2006).	X				X	X	X						X				X						6
Lezaun, M., Perez, G., & de la Maza, E. S. (2007).	X				X	X	X						X				X						6
Lezaun, M., Perez, G., & de la Maza, E. S. (2010)	X					X	X	X					X				X						6
Li, H. T., & Womer, K. (2009).	X	X		X				X			X				X		X		X		X		8
Li, J., Burke, E. K., Curtois, T., Petrovic, S., & Rong, Q. (2012).	X					X	X	X									X						5
Li, J., Burke, E. K., & Qu, R. (2012).	X	X				X	X		X								X						6
Li, J. P., & Aickelin, U. (2004).	X	X			X	X	X	X		X	X	X					X						10
Li, J. P., Aickelin, U., & Burke, E. K. (2009).	X	X			X	X	X	X			X	X					X	X					10
Li, Y., & Kozan, E. (2009).	X							X		X					X		X						5
Li, Y. J., Chen, J., & Cai, X. Q. (2007).	X	X						X		X		X	X				X	X					8
Liao, S., Van Delft, C., Koole, G., Dallery, Y., & Jouini, O. (2009).	X				X	X	X	X	X					X									7
Lilly, M. T., Emovon, I., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2007).	X				X	X	X	X						X			X				X		8
Lu, Z., & Hao, J.-K. (2012).	X	X				X	X	X								X	X						7
Lucic, P., & Teodorovic, D. (2007).	X	X		X				X		X							X	X					7
Lusa, A., Corominas, A., & Munoz, N. (2008).	X				X	X	X		X				X										6
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2006).	X								X								X						3
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2007).	X				X	X	X	X		X							X						7
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2008).	X				X	X	X			X							X	X					7
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2009).	X					X	X			X					X		X						6
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2010).	X	X	X	X	X				X		X						X	X					9
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2011).	X					X	X		X								X	X					6
Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2012).	X	X				X	X		X					X	X		X						8
Mahaney, L., Sanborn, M., & Alexander, E. (2008).																							0
Marasco, A., & Romano, A. (2011).	X	X		X				X		X								X					6
Metivier, J. P., Boizumault, P., & Loudni, S. (2009).	X				X	X	X	X									X						6

Mirrazavi, S. K., & Beringer, H. (2007).	X	X		X						X	X					X	X	X		8
Mohan, S. (2008).							X						X				X			3
Morton, D. P., & Popova, E. (2004).	X		X		X	X	X						X						X	7
Mörz, M., & Musliu, N. (2004).	X				X	X	X	X		X							X	X		8
Moz, M., & Pato, M. V. (2004).	X				X	X	X						X				X			6
Moz, M., & Pato, M. V. (2007).	X				X	X	X								X	X	X			7
Musliu, N. (2005).	X				X	X	X	X		X							X			7
Musliu, N., Schaerf, A., & Slany, W. (2004).	X								X								X			3
Naudin, E., Chan, P. Y. C., Hiroux, M., Zemmouri, T., & Weil, G. (2012).	X	X		X					X		X			X			X	X		8
Naveh, Y., Richter, Y., Attshuler, Y., Gresh, D. L., & Connors, D. P. (2007).																				0
Ni, H., & Abeledo, H. (2007).	X							X		X					X		X			5
Nissen, V., & Gunther, M. (2009).	X	X							X								X			4
Nissen, V., & Gunther, M. (2010).	X																X			2
Noack, D., & Rose, O. (2008).	X	X		X						X	X						X		X	7
Nonobe, K. (2010).	X	X				X	X	X									X			6
Norman, B. A., & Tharmmaphornphilas, W. (2007).	X	X									X			X		X				5
Odegaard, F., Chen, L., Quee, R., & Puterman, M. L. (2007).																				0
Odegaard, F., Chen, L., Quee, R., & Puterman, M. L. (2007).																				0
Ogulata, S. N., Koyuncu, M., & Karakas, E. (2008).	X			X	X								X				X			5
Ovchinnikov, A., & Milner, J. (2008).	X	X			X	X	X	X			X			X			X			9
Ozcan, E. (2005).	X	X						X				X					X			5
Pastor, R., & Corominas, A. (2010).	X	X						X		X	X	X	X				X			8
Pastor, R., & Olivella, J. (2008).	X					X	X	X						X			X			6
Pato, M. V., & Moz, M. (2008)	X				X	X	X									X	X			6
Petrovic, S., & Vanden Berghe, G. (2012).																				0
Pinedo, M. L. (2012).																				0





