



Inês Gil Rodrigues

**BVT Schedule App – Otimização do
escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua**

Coimbra, julho de 2023



Inês Gil Rodrigues

**BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de
pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros
Voluntários de Tábua**

Trabalho de projeto submetido ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Controlo de Gestão**, realizado sob a orientação do Professor Doutor Pedro João Coimbra Martins, coorientação do Professor Doutor António Rui Trigo Ribeiro e supervisão da Adjunta do Comando Teresa Dias.

Coimbra, julho de 2023

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Declaro ser a autora deste projeto, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de ensino superior para obtenção de um grau académico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação do presente projeto.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar aos meus orientadores, Professor Doutor Pedro João Coimbra Martins e ao Professor Doutor António Rui Trigo Ribeiro, pelo apoio, dedicação e rigor imposto ao longo deste projeto.

Agradeço à Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua pelo auxílio no material necessário para a elaboração deste projeto.

Agradeço aos meus pais por sempre me deixarem prosseguir nos estudos, tornando-me a pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu irmão e ao meu namorado que sempre me apoiaram no decorrer do projeto.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

RESUMO

O crescimento organizacional ao nível dos colaboradores e turnos de trabalho em alguns setores representam um desafio atual para a gestão de Recursos Humanos. As empresas que laboram por turnos (manhã, tarde, noite ou outros) demonstram ter dificuldade em afetar os seus colaboradores aos turnos existente e simultaneamente, maximizar a satisfação global da equipa. O absentismo, a desmotivação e a falta de empenho laboral podem ser motivados pelo não envolvimento das preferências dos colaboradores aquando da elaboração das escalas de trabalho, tendo consequências na produtividade e sucesso da empresa. Assim, a realização do planeamento de horários focado nas preferências, indisponibilidades e perfil de cada colaborador é determinante para o bom funcionamento da empresa. O presente projeto visa desenvolver uma aplicação informática interna de apoio ao processo de decisão, para ajudar o responsável da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua a afetar os bombeiros aos turnos de trabalho existentes, de modo a maximizar a satisfação global dos bombeiros. Para tal, foi desenvolvida uma formulação matemática tendo em conta as necessidades da empresa, sendo usado o *SolverStudio* para edição da formulação. Para efeitos de parametrização, foram desenvolvidas estratégias que nos ajudaram a recolher as preferências de cada colaborador de forma eficaz. Terminada esta etapa, a aplicação informática foi colocada em produção. Os resultados obtidos revelaram que, tanto em semanas regulares (semanas sem feriados) como em semanas não regulares (semanas com feriados), a aplicação informática pode contribuir para uma melhor afetação do pessoal devido à complexidade da mesma, nomeadamente no serviço geral ou quando há indisponibilidades por parte dos bombeiros de especialidade (Motoristas, Telecomunicações e/ou EIP's). Destaca-se ainda a diferença significativa no esforço de construção das escalas de trabalho, tendo esse esforço passado de dias para minutos, assim como na qualidade das soluções obtidas, em termos da satisfação global da equipa.

Palavras-chave: otimização por turnos; aplicação informática; escalas de trabalho; maximização da satisfação dos trabalhadores; bombeiros

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

ABSTRACT

Organizational growth in terms of employees and work shifts in some sectors represent a current challenge for Human Resources management. Companies that work in shifts (morning, afternoon, night or others) demonstrate difficulties to put their employees to the existing shifts and, at the same time, maximizing the overall satisfaction of the team. Absenteeism, demotivation and lack of commitment to work can be caused by not taking employees' preferences into perspective when they are on the process of making the work schedules, having consequences for the company's productivity and success. Thus, the planning of schedules that is focused on the preferences, unavailability and profile of each employee is crucial for the proper functioning of the company. This project aims to develop an internal IT application to support the decision process, to help the head of the Humanitarian Association of Volunteer Firefighters of Tábua to assign firefighters to the existing work shifts in order to maximize the overall satisfaction of firefighters. To this end, a mathematical formulation was developed taking fulfilling the needs of the company, using SolverStudio to edit the formulation. For parameterization purposes, strategies were developed that helped us collect the preferences of each employee efficiently. After this stage, the artifact was put into production. The results revealed that, both in regular weeks (weeks without holidays) and in non-regular weeks (weeks with holidays), the computer application can contribute to a better allocation of staff due to its complexity, namely in the general service or when there is unavailability on the part of specialized firefighters (Drivers, Telecommunications and/or EIP's). Also noteworthy is the significant difference in the effort to build the work schedules, with this effort going from days to minutes; as well as the quality of the solutions obtained, in terms of the overall satisfaction of the team.

Keywords: shift optimization; software; shift scheduling; maximization of employees' satisfaction; firefighters

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Justificação do Projeto	2
1.3	Objetivos e contributos esperados.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho.....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3	METODOLOGIA	12
4	DESENVOLVIMENTO DA BVT SCHEDULE APP.....	15
4.1	Descrição e requisitos do problema	15
4.2	Formulação base.....	17
4.3	Formulação com feriados.....	29
4.4	Solvers matemáticos utilizados na resolução das formulações.....	52
4.5	Interface gráfica	54
5	APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA BVT SCHEDULE APP.....	58
5.1	Caso normal	60
5.2	Casos de contingência	65
5.2.1	Caso de uma semana regular com impedimentos.....	65
5.2.2	Caso de uma semana com feriado há segunda-feira	69
5.2.3	Caso de uma semana com um aumento de volume de trabalho significativo	71
6	CONCLUSÃO	74
6.1	Principais contributos.....	74

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

6.2	Limitações	76
6.3	Trabalhos futuros	76
6.4	Considerações finais.....	76
REFERÊNCIAS.....		78
ANEXOS		81
ANEXO 1		82
ANEXO 2		84
ANEXO 3		86
ANEXO 4		88

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Processo de planeamento de escala de trabalho	7
Figura 3.1 Etapas DSR	12
Figura 3.2 Processo DSR	13
Figura 3.3 DSR aplicado ao projeto.....	14
Figura 4.1 Processo de introdução e resolução do Modelo de Otimização no SolverStudio	53
Figura 4.2 Exemplo de Formulário para os Bombeiros do serviço de Telecomunicações Masculinos	54
Figura 4.3 Botão limpar do Formulário do serviço de Telecomunicações Masculinos .	55
Figura 4.4 Botão submeter: 1º Código.....	55
Figura 4.5 Botão Submeter: 2º Código	56
Figura 4.6 Botão Submeter: 3º Código	56
Figura 4.7 Botão de Preenchimento: 4º Código.....	57
Figura 5.1 Extrato da folha de Excel com os parâmetros para a formulação e matriz de preferências.....	59
Figura 5.2 Escala de motoristas obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos	61
Figura 5.3 Escala de EIP obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos.....	61
Figura 5.4 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos	62
Figura 5.5 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos	62

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Figura 5.6 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos	63
Figura 5.7 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso normal)	64
Figura 5.8 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com impedimentos	66
Figura 5.9 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com impedimentos	66
Figura 5.10 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com impedimentos	66
Figura 5.11 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso de uma semana regular com impedimentos)	68
Figura 5.12 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana não regular com feriado à segunda-feira	69
Figura 5.13 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana não regular com feriado à segunda-feira	70
Figura 5.14 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana não regular com feriado à segunda-feira	70
Figura 5.15 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso de uma semana não regular com feriado à segunda-feira)	71
Figura 5.16 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com aumento de volume de trabalho significativo	72
Figura 5.17 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com aumento de volume de trabalho significativo	72
Figura 5.18 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com aumento de volume de trabalho significativo	72

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Figura 5.19 N° de bombeiros voluntários vs. N° de bombeiros efetivos para a escala geral (caso de uma semana co aumento de volume de trabalho significativo)..... 73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 Descrição dos horários que integram o conjunto H 18

Tabela 4.2 Descrição dos horários em dias de feriado que integram o conjunto H..... 30

Tabela 4.3 Resumo da Formulação com feriados 50

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas

AHBVT – Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

EIP – Equipa de Intervenção Permanente

OE – Objetivo Específico

INEM – Instituto Nacional de Emergência Médica

CDOS – Comando Distrital de Operações de Socorro

UX/UI – *User Experience & User Interface*

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório é feito um enquadramento do projeto, descrevendo não só o contexto do mesmo, como também a organização parceira. No seguimento deste capítulo é justificado o projeto, abordando a situação atual da organização e as suas dificuldades na construção de escalas de trabalho. Os objetivos e contributos esperados são também indicados neste ponto. Por último, a estrutura do trabalho de projeto é resumidamente descrita.

1.1 Contextualização

Inúmeras organizações, quando laboram por turnos, não têm em atenção as preferências dos seus colaboradores aquando da afetação dos mesmos aos horários de trabalho, o que proporciona, por vezes, insatisfação da equipa. As organizações, para além das preferências dos colaboradores, devem considerar o perfil dos mesmos para garantir, não só a satisfação, como também a produtividade global.

Um plano de horários que não tem em conta as preferências e o perfil de cada colaborador, pode potenciar o absentismo, a desmotivação e a falta de empenho laboral, com consequências na produtividade e sucesso da empresa. Assim, a formalização do planeamento de horários focado nas preferências, indisponibilidades e perfil de cada colaborador é cada vez mais importante. O Código do Trabalho, no artigo 54º, nº4, refere que “o empregador deve adequar o horário de trabalho resultante da redução do período normal de trabalho tendo em conta a preferência do trabalhador, sem prejuízo de exigências imperiosas do funcionamento da empresa”. O mesmo ainda refere, no artigo 152º, nº1, que o empregador deve considerar o perfil do colaborador, salientando as pessoas “com responsabilidades familiares, com capacidade de trabalho reduzida, com deficiência ou doença crónica ou que frequentem estabelecimento de ensino”.

Para além dos problemas de planeamento de horário acima mencionados, ou seja, a não consideração das preferências e perfil dos colaboradores aquando do escalonamento de pessoal, há, ainda hoje, a falta de mecanismos e softwares auxiliares adaptados à realidade

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

de cada organização. Isto significa que, o responsável pelo escalonamento de pessoal elabora as escalas de horários de forma manual, levando a que as mesmas demorem mais tempo a serem produzidas e divulgadas aos colaboradores. Nestas situações, as soluções são mais suscetíveis a erros, são mais rígidas e menos disponíveis para acomodar mudanças, podendo contribuir negativamente para o bem-estar, eficácia e eficiência da equipa.

Estes problemas de escalonamento de pessoal têm sido amplamente discutidos (Van Den Bergh et al., 2013), pois tornou-se cada vez mais complexo e difícil encontrar soluções que atendam às especificidades de cada organização.

O presente projeto será desenvolvido em colaboração com a Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua (AHBVT) e adaptado à realidade organizacional da mesma. Esta associação é uma instituição sem fins lucrativos, fundada em 1935 e que atualmente conta com cinquenta e cinco bombeiros, sendo vinte e oito (28) efetivos e vinte e sete (27) voluntários. A AHBVT atua nas seguintes áreas de serviço: “combate a incêndios, proteção civil, proteção contra incêndios, resgate, salvação pública e serviço público”. Pelo perfil da atividade exercida, o quartel permanece 24 horas aberto e disponível para atuar nas suas áreas de serviço. Os bombeiros são divididos pelos diferentes postos, tendo por base a sua especialização e experiência, o que obriga à existência de seis tipos diferentes de funções, nomeadamente: pessoal fixo, serviço central de telecomunicações, serviço central de motoristas, serviço de equipa de intervenção permanente (EIP), serviço de diálise e de serviço geral para fazer face às atividades permanentes da associação.

1.2 Justificação do Projeto

A associação, atualmente, está consciente de que, aquando do escalonamento de pessoal, deve considerar as preferências, perfil e indisponibilidade de cada bombeiro, desenvolvendo o horário de trabalho tendo em conta estas especificidades. Contudo, o responsável elabora as escalas de horários para um horizonte mensal (em formato Excel), levando a que as mesmas demorem, em média, uma semana a serem produzidas. Para

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

além disso, a escala de serviço geral é constantemente modificada ao longo da sua execução. Como a organização não possui qualquer aplicação informática que automatize todo este processo de planeamento, a resposta adequada e atempada à elaboração das escalas torna-se ineficiente e suscetível a erros e insatisfação.

Sendo a associação composta por cinquenta e cinco (55) bombeiros, alguns dos quais incorporados em diferentes grupos, a mesma sentiu a necessidade de otimizar o processo com recurso à utilização de software de otimização.

1.3 Objetivos e contributos esperados

O objetivo geral do trabalho passa por criar uma aplicação informática interna de apoio ao processo de decisão para auxiliar o responsável no planeamento de horários, que maximize a satisfação global e que diminua o tempo de execução dessa tarefa.

Pretende-se alcançar este objetivo geral através do cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- OE.1. Identificar o número total de bombeiros ativos e o seu regime de contrato de trabalho.
- OE.2. Identificar as necessidades de serviço solicitadas à associação, envolvendo cenários de maior e de menor procura.
- OE.3. Identificar os turnos existentes na associação e o número mínimo necessário de bombeiros em cada turno.
- OE.4. Desenvolver uma formulação matemática que possa corresponder ao processo de afetação de horários para esta associação, recorrendo a técnicas de otimização linear.
- OE.5. Identificar as indisponibilidades (ex.: férias marcadas ou consultas), preferências de horários e folgas de cada bombeiro.
- OE.6. Colocar em produção a aplicação informática de otimização desenvolvida. Analisar e discutir as soluções obtidas e estudar cenários alternativos, decorrentes

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

de mudanças nos parâmetros inicialmente definidos e que correspondam a cenários relevantes do regular funcionamento da atividade da associação.

- OE.7. Avaliar a eficiência da aplicação informática de otimização desenvolvida comparando a utilização da mesma com o cenário anterior à sua colocação em produção.

O desenvolvimento desta aplicação informática irá ajudar o responsável da AHBVT a afetar o pessoal aos horários de trabalho. Para além disso, a mesma irá promover a rotatividade do pessoal de forma a otimizar a satisfação global dos mesmos, cumprindo com as necessidades laborais existentes. Irá também contribuir para melhorar o tempo de execução do processo em causa.

Num sentido mais alargado, pretende-se que a aplicação contribua para a inovação e transferência de conhecimento nestes setores, pois a mesma poderá ser replicada a outras entidades congéneres, adaptando-a sempre à realidade da organização em causa, promovendo a eficiência dos procedimentos de alocação dos seus colaboradores.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho de projeto está estruturado em capítulos, sendo que o próximo consiste numa revisão da literatura. Este capítulo evidenciará alguns dos principais contributos da otimização matemática para responder a problemas gerais de escalas e turnos de trabalho e descreverá alguns casos aplicados de sucesso.

O terceiro capítulo expõe a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto e a sua aplicação prática ao mesmo.

O quarto e mais extenso capítulo descreve todo o processo de desenvolvimento da aplicação informática de otimização de planeamento de horários de trabalho, desde a sua formulação inicial até ao objeto final.

O quinto capítulo apresenta a utilização da aplicação informática desenvolvida para resolver o problema inicialmente identificado na AHBVT. Ainda neste capítulo, são analisadas e discutidas as soluções obtidas e estudados os cenários alternativos,

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

decorrentes de mudanças nos parâmetros inicialmente definidos e que correspondam a cenários relevantes do regular funcionamento da atividade da associação. Adicionalmente, será também avaliada a eficiência da aplicação informática, comparando a utilização da mesma com a forma de desenvolvimento que atualmente é seguida pelo responsável do serviço administrativo dos bombeiros.

Por último, o sexto capítulo, apresenta as conclusões, mencionando os resultados obtidos, as limitações e contributos do projeto e sugestões para futuros desenvolvimentos.

Refere-se ainda que vão ser apresentadas duas formulações no capítulo quarto. A 1ª corresponde a uma semana regular, sem feriados; e a 2ª representando uma semana com um dia feriado. A 1ª formulação está também incluída na 2ª, podendo, por esse motivo, ser eliminada do presente trabalho. Porém, optou-se por manter as duas, pelo facto de a 2ª formulação ser mais extensa e mais difícil de descrever, beneficiando essa descrição da apresentação prévia da 1ª formulação.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os problemas de escalonamento de pessoal têm sido amplamente discutidos em diversos setores empresariais (Van Den Bergh et al., 2013), pois tornou-se cada vez mais difícil encontrar soluções que atendam às especificidades de cada organização. As soluções de escalonamento de pessoal visam, na sua grande maioria, não só, reduzir os custos laborais, como também, atender às preferências dos funcionários, distribuindo os turnos de forma equitativa, com o objetivo de otimizar a satisfação global da equipa (Ernst et al., 2004, p.3).

Baker (1976) apresentou um dos primeiros processos de otimização para a resolução de problemas referentes ao escalonamento de trabalhadores, classificando-os em três grupos: o planeamento de turnos, o planeamento dos dias de folga e o planeamento integrado.

O planeamento de turnos, proposto por Baker (1976), envolve turnos não sobrepostos. Deste modo, os requisitos de pessoal em cada turno são tratados de forma independente, portanto, o horizonte temporal de planeamento é diário. O planeamento dos dias de folga envolve a alocação dos trabalhadores de forma a garantir no mínimo dois dias de folga. Por último, o planeamento integrado, envolve a combinação dos dois tipos de planeamento anteriormente referidos.

Porém, as diferentes especificidades de setores e de organizações em particular, trazem desafios permanentes para o escalonamento (afetação) de trabalhadores, envolvendo o planeamento de turnos, dias de descanso e escalas de trabalho. Em muitos casos, é construída uma solução (por vezes à mão) que é mantida durante um longo período de tempo, porque a construção e as alterações são difíceis de obter.

Segundo Kyngas et al. (2012), o planeamento de escalas de trabalho (*rostering*) permite que o responsável afete os colaboradores aos turnos, consoante o volume de trabalho, as preferências dos mesmos e os dias de descanso obrigatórios.

Em 2012, foi publicado um trabalho de revisão que descreve as diversas metodologias até então propostas para o estudo de problemas de escalas de horários de trabalho (Van Den

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Bergh et al., 2013). Esse trabalho defende que aquando da produção das escalas de trabalho, o responsável deve ter em conta:

- Características pessoais, tipos de decisões e definição dos turnos;
- Restrições, indicadores de desempenho e flexibilidade;
- Soluções e imprevistos;
- Área de aplicação e aplicabilidade do estudo.

Em Kyngas et al. (2012), os autores apresentam uma proposta integrada e sequencial do processo de planeamento de escalas de trabalho. Essa proposta é representada na Figura 2.1. O artigo recomenda um conjunto sequencial de etapas para que o processo se ajuste da melhor forma à realidade.

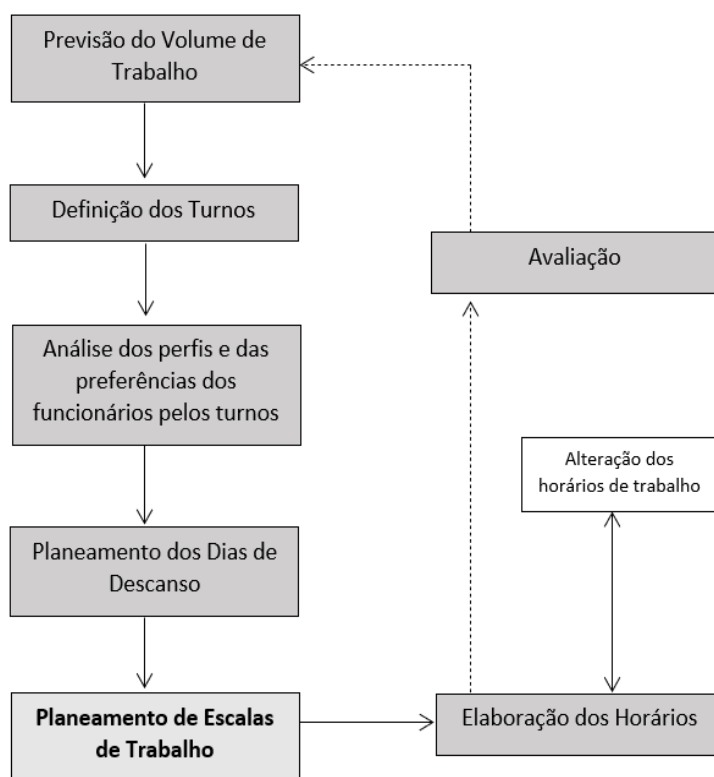


Figura 2.1 Processo de planeamento de escala de trabalho

Fonte: Adaptado de Kyngas et al. (2012)

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

O processo de planeamento de escalas de trabalho arranca quando o responsável pelo planeamento faz uma previsão do volume de trabalho. Posteriormente, consoante essa previsão, são definidos os turnos e o número de colaboradores disponíveis para fazer face ao volume de trabalho. Os turnos, por norma, são agrupados por turnos da manhã, diurnos e noturnos. Estes são compostos por um conjunto de tarefas específicas destinadas a colaboradores com determinadas características ou qualificações. Após delineados os turnos, definido o número necessário de colaboradores a afetar e as tarefas a desempenhar, é analisado o perfil de cada colaborador e as suas preferências pelos turnos. Segundo De Bruecker et al. (2015), o perfil do funcionário pode ser definido através: da idade, da experiência, do grau de conhecimento adquirido ou das formações e qualificações do mesmo. As preferências pelos turnos são, em grande maioria, obtidas através de um questionário realizado a cada colaborador. A recolha da informação do perfil e das preferências é crucial, pois um planeamento de escalas de trabalho que não tenha em conta as preferências e o perfil de cada colaborador, pode conduzir a insuficiências em determinadas horas do período laboral definido pela empresa, podendo afetar a eficácia e eficiência de toda a equipa.

Em seguida, como representado na Figura 2.1, é necessário realizar um planeamento dos dias de descanso a que cada colaborador tem direito, englobando o dia de descanso obrigatório, o dia suplementar e os dias de férias. O planeamento de escalas de trabalho é elaborado posteriormente, tendo em conta os turnos definidos, o número de colaboradores necessários em cada turno, o perfil, as preferências e os dias de descanso de cada colaborador. Adicionalmente, o planeamento deve considerar todas as restrições adicionais subjacentes a cada setor de atividade. Por fim, é elaborado o horário semanal ou mensal para ser divulgado.

De uma forma mais abrangente, mas menos comum, o processo de planeamento de escalas pode ser realizado conjuntamente com o planeamento de horários, sendo resolvido de forma integrada. Nestes casos, são definidas as necessidades laborais, as diferentes tipologias de horários e as preferências e limitações dos colaboradores. Posteriormente, o processo é otimizado sendo determinado uma seleção de horários e a afetação dos

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

colaboradores a esses horários, maximizando, por exemplo, a satisfação global. Esta versão mais abrangente não será seguida no presente estudo, o qual assume um conjunto de horários pré-definidos.

Os problemas de planeamento de escalas de trabalho podem ser solucionados através de formulações matemáticas e/ou algoritmos heurísticos. Estas formulações e algoritmos têm, na sua generalidade, várias décadas, o que não significa que se encontrem desatualizados. A eventual desatualização que poderemos apontar incide sobretudo nas condições práticas consideradas nos problemas estudados no passado. De facto, novas formas e condições de trabalho exigem novas formulações, que incluam essas especificidades. Por outro lado, muitas destas especificidades são diferentes de empresa para empresa ou de organização para organização, obrigando quase sempre à construção de formulações próprias para cada caso prático particular.

Posto isto, os problemas de planeamento de escalas de trabalho podem ser resolvidos através de abordagens exatas ou abordagens aproximativas. As abordagens exatas mais comuns baseiam-se em formulações matemáticas capazes de alcançar uma solução exata. Por outro lado, as abordagens aproximativas mais comuns baseiam-se em algoritmos heurísticos ou meta heurísticos capazes de procurar soluções de muito boa qualidade na imensidão que caracteriza os conjuntos de soluções admissíveis destes problemas (Böðvarsdóttir et al., 2022). Estes métodos obtêm, em geral, soluções de grande qualidade, sendo muitas vezes próximas da solução ótima (Knust & Xie, 2019).

As formulações matemáticas propostas na literatura para solucionar os problemas de planeamento de escalas de trabalho recorrem a modelos de programação linear inteira. Neste âmbito, a otimização matemática estuda problemas que visam minimizar/maximizar uma (ou mais) função objetivo, sujeita a um conjunto de restrições caracterizadoras do respetivo conjunto de soluções admissíveis, com o objetivo de alcançar soluções ótimas (eficientes).

A caracterização da função objetivo e a definição das restrições são aspetos fundamentais para uma adequada modelação de qualquer problema de otimização porque só assim se

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

consegue descrever corretamente o respetivo conjunto de soluções. Essa preocupação aplica-se também, naturalmente, aos problemas de planeamento de escalas de trabalho.

O planeamento de escalas de trabalho tem sempre em conta alguns conjuntos tipificados de restrições. Um desses conjuntos assegura que os colaboradores não fazem mais do que a capacidade laboral disponível. Estas restrições são quase sempre de empacotamento (*set packing*) ou de afetação (*assignment*). Um outro conjunto de restrições garante que cada horário é coberto por, pelo menos, um determinado número de colaboradores (restrições de *set covering*). Para além destes conjuntos de restrições, cada caso particular, apresenta restrições adicionais para satisfazer os requisitos específicos do problema em causa.

Atualmente, são desenvolvidos modelos para otimizar as escalas de trabalho em inúmeras organizações, de diferentes setores. Contudo, conforme a área de aplicação, são utilizadas as abordagens mais adequadas (abordagens exatas ou abordagens aproximativas)

O desenvolvimento de trabalho de investigação no planeamento de horários e escalas de trabalho, com atenção às competências e implicações na vida pessoal dos colaboradores, foi organizado num artigo de revisão publicado em 2015 (De Bruecker et al., 2015). Muitas das aplicações neste âmbito incidem em problemas de logística (Caballini & Paolucci, 2020), em *call centers* (Türker & Demiriz, 2018), em serviços clínicos (Becker et al., 2019; Böðvardsdóttir et al., 2022; Cheang et al., 2003; Knust & Xie, 2019) e outros.

Destaca-se ainda o trabalho de revisão no âmbito dos turnos de trabalho com aplicações no controlo de tráfego aéreo (Terenzi et al., 2022) e na indústria da aviação (Shiau et al., 2020).

Segundo Ernst et al. (2004) existem três grandes áreas de atuação: transportes, *call centers* e sistemas de saúde. Atualmente, o leque de áreas de atuação é muito mais extenso, incluindo empresas dos setores produtivos, do comércio e dos serviços (em geral), ou seja, todas as áreas que atualmente funcionam em regimes de horários que excedem a jornada normal diária de trabalho ou que se estendam por toda a semana, obrigado ao planeamento de turnos e períodos de descanso.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Por exemplo, em serviços de transporte é necessário ter em consideração as variáveis geográficas e temporais, onde em outros setores estas não são determinantes. Estas extensões aumentam bastante a dimensão e complexidade dos modelos. Segundo Ernst et al. (2004), são sugeridas metodologias de decomposição do problema em fases modulares, procurando beneficiar a resolução de modelos mais complexos e de maior dimensão, nomeadamente através da criação, de equipas de trabalho por região ou por tarefas para, posteriormente possibilitar a realização do processo de otimização (sendo este por equipas).

Em serviços de *call center*, segundo Ernst et al. (2004), não basta apenas alocar os colaboradores às restrições do serviço. Aqui é necessário ter em conta as características pessoais de cada colaborador (perfil) para o serviço. Porém, atualmente, esta perspetiva já é adotada por grande parte dos serviços mencionados. Em Türker & Demiriz (2018), estes aspetos são abordados na afetação dos colaboradores à força de trabalho a afetar aos horários, folgas e pausas para alimentação e descanso, na fase de *rostering*.

Na área da saúde, os problemas de escalonamento são largamente discutidos, procurando atender às especificidades próprias desse setor de atividade, as quais são muito difíceis de conjugar. Identificar o número adequado de enfermeiros necessários em cada período é crucial para um funcionamento eficiente em qualquer serviço clínico, quer do ponto de vista do atendimento clínico, quer do ponto de vista da gestão. Este aspeto é igualmente observado em serviços de proteção e emergência. A título exemplificativo, pode existir uma maior necessidade de polícias às sextas-feiras e sábados à noite, ou maior número de bombeiros na estação do verão. Dado que existe essa necessidade, para que o serviço seja correspondido em níveis de padrão elevados, as mudanças na frequência de incidências resultarão em mudanças no número de funcionários necessários para fornecer os níveis de cobertura exigidos. Neste âmbito, uma abordagem recente foi analisada em Böðvarsdóttir et al. (2022).

No caso particular do presente estudo, aplicado aos Bombeiros Voluntários de Tábua, o projeto envolverá as áreas de serviços de: telecomunicações, motoristas, intervenção permanente, diálise e voluntariado.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

3 METODOLOGIA

A metodologia *Design Science Research* (DSR), proposta por Peffers et al. (2007), é a metodologia de investigação que será aplicada ao presente projeto. Esta é direcionada à resolução de problemas através do desenvolvimento, implementação e avaliação de um artefacto. O conceito de artefacto não se restringe apenas a objetos físicos, pois o mesmo pode ser um modelo, um método, uma aplicação informática, entre outros.

Segundo Peffers et al. (2007, p.54), esta metodologia é composta por seis etapas, sendo elas: identificação do problema e motivação; definição dos objetivos para uma solução; desenho e desenvolvimento do artefacto; demonstração; avaliação; e comunicação. As mesmas encontram-se ilustradas graficamente na Figura 3.1.

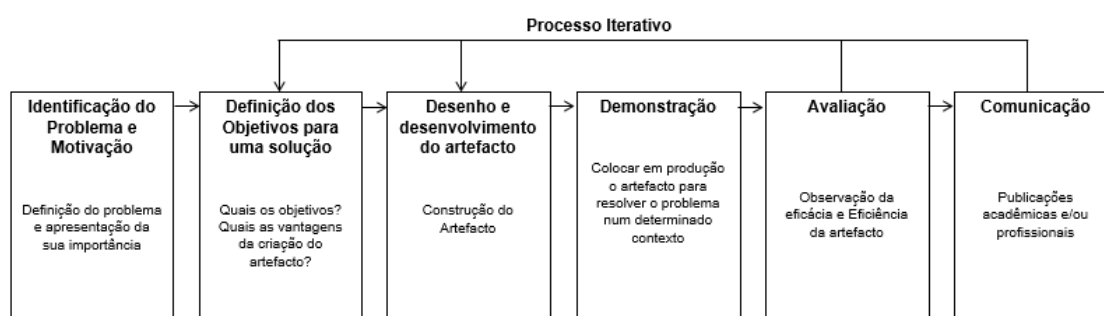


Figura 3.1 Etapas DSR

Fonte: Peffers et al. (2007)

A etapa 1 consiste na identificação do problema e apresentação da sua importância. Consequentemente, após esta etapa concluída, são definidos os objetivos na etapa 2. Os mesmos podem ser qualitativos ou quantitativos. Dos objetivos qualitativos espera-se que o novo artefacto sustente soluções para problemas que não tenham sido abordados. Por outro lado, dos objetivos quantitativos espera-se que a solução encontrada seja melhor que as existentes até então. Seguidamente, na etapa 3 desenha-se e desenvolve-se um artefacto “baseado em teorias e conhecimentos existentes para encontrar uma solução de um problema definido” (Peffers et al., 2007, p.49). Após a criação do artefacto, ele é colocado em produção (etapa 4) e é avaliada a eficácia e eficiência do mesmo em determinado contexto (etapa 5). No final desta etapa, os investigadores podem decidir se

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

devem iterar de volta para a etapa 3 para melhorar a eficácia do artefacto ou continuar para a última fase, que consiste na comunicação (Peffers et al., 2007, p. 56).

Toda e qualquer pesquisa que utiliza esta metodologia, nem sempre tem o mesmo ponto de partida. O propósito da investigação surge por razões distintas. É possível identificar quatro pontos de entrada da pesquisa. O início da investigação pode ocorrer quando: surge um novo problema; pretende-se alcançar um determinado objetivo; pretende-se desenvolver um artefacto; ou um cliente/contexto influencia. A Figura 3.2 mostra como se desenrola todo o processo da DSR (Peffers et al., 2007, p. 54).

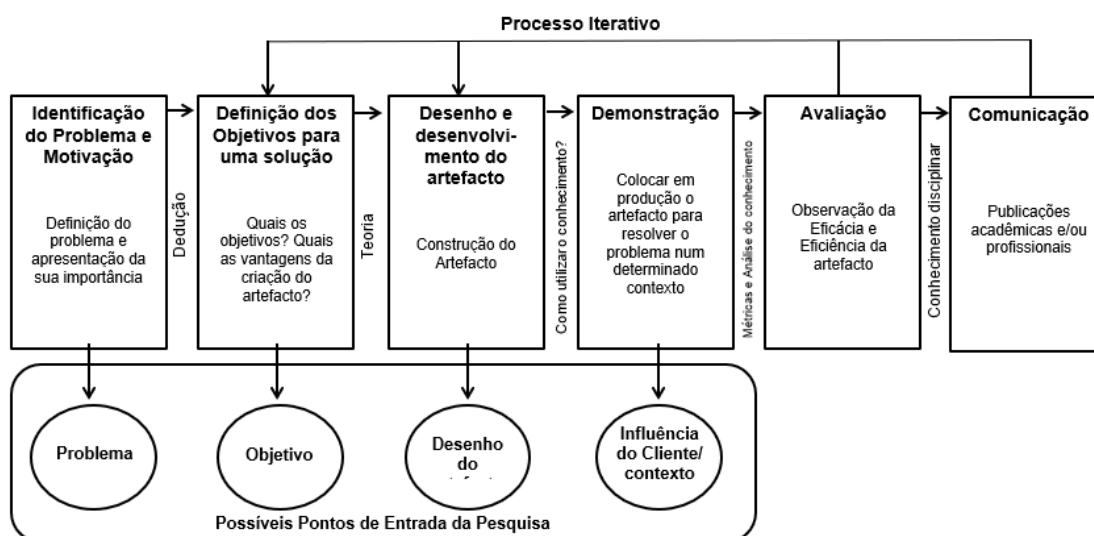


Figura 3.2 Processo DSR

Fonte: Peffers et al. (2007)

Tendo em conta a metodologia descrita, o presente projeto inicia-se na primeira etapa, motivado pelo facto de a associação se ter apercebido de que as escalas de trabalho levavam muito tempo a serem construídas. O problema identificado surge, principalmente, devido ao processo de produção das escalas ser feito de forma manual pelo responsável do escalonamento de pessoal. A Figura 3.3 demonstra todo o processo aplicado ao projeto em causa.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

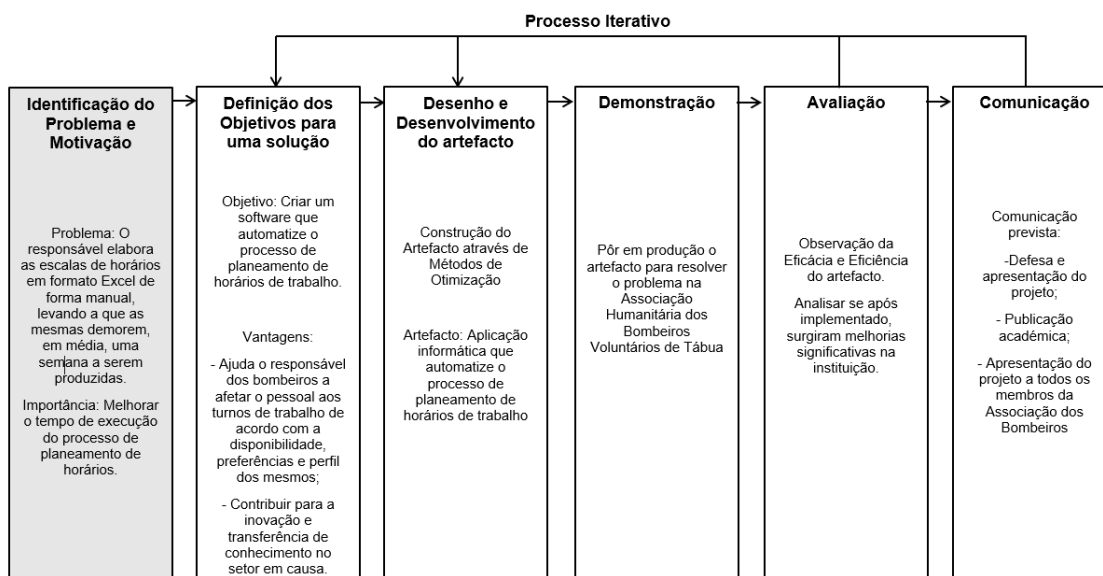


Figura 3.3 DSR aplicado ao projeto

O objetivo deste projeto é criar um artefacto de apoio ao processo de decisão para auxiliar o responsável no planeamento de horários. Esse artefacto consiste numa aplicação informática que irá fornecer uma solução que maximize a satisfação global da equipa, diminuindo o tempo de execução dessa tarefa. Este pode ser caracterizado como um objetivo quantitativo, pois espera-se que a solução encontrada seja melhor que as existentes até então. Neste sentido, pretende-se desenvolver uma aplicação informática, designada como BVT Schedule App, e posteriormente colocá-la em produção analisando se após implementado ocorreram melhorias significativas na associação. Por fim, prevê-se que este projeto seja apresentado e comunicado academicamente e na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua.

Ao longo dos próximos capítulos será utilizada a designação “BVT Schedule App” para definir o artefacto desenvolvido.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

4 DESENVOLVIMENTO DA BVT SCHEDULE APP

Neste capítulo são propostas duas formulações matemáticas para resolver duas versões do problema em estudo. Ambas as formulações são capazes de dar resposta a essas versões do problema. A primeira formulação modela o caso de uma semana regular (semana sem feriados), enquanto a segunda formulação modela a versão de uma semana onde pelo menos um dos dias de segunda a sexta corresponde a um feriado. Para construir a formulação, foram recolhidas informações sobre o número total de bombeiros ativos, o seu regime de contrato de trabalho, as necessidades de serviço (envolvendo cenários de maior e de menor procura), os turnos existentes na associação, o número mínimo necessário de bombeiros em cada turno, entre outras informações.

Ainda neste capítulo, são apresentados os *softwares* utilizados para resolver o problema de escalonamento de pessoal. Adicionalmente, é proposta uma ferramenta de interação gráfica integrada na BVT Schedule App. Esta ferramenta visa recolher as preferências dos colaboradores de forma simples e eficaz, para que, de forma automática, sejam inseridas nos dados na formulação que constam na BVT Schedule App.

4.1 Descrição e requisitos do problema

Para a descrição do processo de organização dos bombeiros para efeitos de planeamento de escalas é necessário ter em conta as especificidades de cada função. A associação conta com cinquenta e cinco bombeiros, sendo vinte e oito (28) efetivos e vinte e sete (27) voluntários. Os bombeiros efetivos e voluntários estão distribuídos pelas diversas funções da associação. De salientar que os bombeiros efetivos alocados aos serviços: fixo, de motoristas, de telecomunicações e de equipa de intervenção permanente, realizam sempre este serviço, podendo realizar o serviço da sua especialidade e os serviços de diálise e geral. Isto significa que um bombeiro que realize o serviço fixo, não irá realizar o serviço de telecomunicações, motoristas e EIP. As informações apresentadas são referentes ao período de novembro de 2022.

- Serviço fixo

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Os bombeiros que integram o grupo de “pessoal fixo” permanecem 8 horas por dia no quartel (nos dias úteis), assegurando o normal funcionamento do mesmo. Atualmente, a associação dispõe de três funcionários fixos, sendo que um destes bombeiros está encarregue de coordenar o serviço central de motoristas, outro é responsável por gerir todo o serviço administrativo e o terceiro é responsável por assegurar a limpeza e higienização do espaço e equipamentos.

- Serviço de motoristas

Os bombeiros que integram o grupo do “pessoal do serviço central de motoristas” realizam trabalho pré-programado pelo coordenador do mesmo, pois estes transportam todos os doentes não urgentes para consultas, fisioterapia ou para outro serviço hospitalar, para diferentes zonas do país. Atualmente a associação conta com 10 bombeiros motoristas e 4 turnos diferentes para esta função.

- Serviço de telecomunicações

Os bombeiros que integram o grupo do “pessoal do serviço central de telecomunicações” recebem todas as chamadas telefónicas que são encaminhadas para o quartel, como por exemplo, as chamadas do INEM (Instituto Nacional de Emergência Médica), do CDOS (Comando Distrital de Operações de Socorro) e de pessoas individuais que necessitam ser transportadas para consultas ou que necessitam de assistência por parte dos bombeiros. Atualmente a associação conta com 5 bombeiros para realizar este serviço, onde 2 dos bombeiros são do sexo feminino e os restantes do sexo masculino. Sendo que, apenas os bombeiros do sexo masculino poderão realizar o turno noturno deste serviço. Além disso este serviço é obrigatório em todos os dias (dias úteis e fins-de-semana) e apenas os bombeiros do sexo masculino podem realizar os horários de fim de semana. Salientando ainda que, num dia de feriado, entre segunda-feira e sexta-feira, os horários realizados do serviço de telecomunicações neste dia de feriado são os mesmos que se realizam sábado. Ou seja, em vez das escalas habitualmente programadas para o dia da semana, são antes realizadas as escalas habituais de um sábado.

- Serviço de equipa de intervenção permanente

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

A equipa de “intervenção permanente” é constituída pelo conjunto de bombeiros que são chamados em primeira instância, ou seja, em saídas de emergência. Esta equipa realiza os serviços de intervenção pré-hospitalar, as saídas para acidentes rodoviários e as saídas para incêndios florestais e urbanos. A associação conta com duas equipas, ambas constituídas por 5 elementos para realizar este serviço. As equipas já se encontram pré-definidas e não podem ser alteradas, caso algum membro da equipa falte o serviço é assegurado pelos restantes membros da equipa.

- Serviço de Diálise

Os bombeiros que realizam o “serviço de diálise”, podem ser os mesmo que realizam o serviço central de telecomunicações, o serviço central de motoristas e o serviço de equipa de intervenção permanente, visto que o serviço de diálise apenas é efetuado aos sábados e feriados para as zonas de Coimbra, Viseu ou Mangualde. Caso o feriado seja entre segunda-feira e sexta-feira, os horários realizados do serviço de diálise nesse dia de feriado são os mesmos que se realizam ao sábado.

- Serviço Geral

Os horários a realizar na escala de “serviço geral” servem para fazer face ao serviço existente aos fins de semana, feriados e noites. Os bombeiros voluntários ingressam apenas nesta escala. Adicionalmente, todos os bombeiros efetivos podem ser também chamados a realizar um dos horários semanais da escala de serviço geral. Salientando que num dia de feriado, entre segunda-feira e sexta-feira, os horários realizados do serviço geral neste dia de feriado são os mesmos realizados ao sábado. Ou seja, em vez das escalas habitualmente programadas para o dia da semana, são antes realizadas as escalas habituais de um sábado.

Ao longo do texto, usaremos a expressão “dias de semana” para representar apenas os dias de segunda a sexta-feira.

4.2 Formulação base

O problema de planeamento de horários e turnos de trabalho em estudo pode ser descrito no grafo bipartido $G = (N, A)$, no qual o conjunto de nodos N se decompõe nos nodos B

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

e H , com $N = B \cup H$, onde B represente o conjunto de todos os bombeiros e H representa o conjunto de todos os horários, com $|B| = 55$ e $|H| = 78$. O conjunto de arcos é caracterizado por $A = \{(i,j) : i \in B, j \in H \text{ e o bombeiro } i \text{ pode realizar o horário } j\}$, representando todas as ligações admissíveis que ligam os bombeiros aos horários que estes possam praticar.

O conjunto B de todos os bombeiros é decomposto em $B = B^1 \cup B^2 \cup B^3 \cup B^4 \cup B^5$, com:

$B^1 \equiv$ conjunto de bombeiros fixos ($|B^1|=3$);

$B^2 \equiv$ conjunto de bombeiros de telecomunicações ($|B^2|=5$);

$B^3 \equiv$ conjunto de bombeiros motoristas ($|B^3|=10$);

$B^4 \equiv$ conjunto de bombeiros EIPs ($|B^4|=10$) e

$B^5 \equiv$ conjunto de bombeiros voluntário ($|B^5|=28$).

O conjunto H de todos os horários é descrito na Tabela 4.1, considerando a lista de cada tipo de horário.

Tabela 4.1 Descrição dos horários que integram o conjunto H

Índice	Tipo	Descrição
1	9h-18h – fixo – Seg.	Horários para os bombeiros fixos – segunda-feira
2	8h-17h – fixo – Seg.	
3	8h-17h – tel – Seg.	Horários para os bombeiros de telecomunicações - segunda-feira
4	12h-20h – tel – Seg.	
5	20h-8h – tel – Seg.	
6	6h30-15h30 – mot – Seg.	Horários para os bombeiros motoristas – segunda-feira
7	8h-17h – mot – Seg.	
8	12h-20h – mot – Seg.	
9	15h-24h – mot – Seg.	
10	6h-14h – EIP – Seg.	Horários fixos para os bombeiros em EIPs – segunda-feira
11	13h-21h – EIP – Seg.	
12	20h-8h – geral – Seg.	Horário da escala geral de segunda-feira
13	9h-18h – fixo – Ter.	Horários para os bombeiros fixos – terça-feira
14	8h-17h – fixo – Ter.	

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Tabela 4.1 Descrição dos horários que integram o conjunto H (continuação)

Índice	Tipo	Descrição
15	8h-17h – tel – Ter.	Horários para os bombeiros de telecomunicações -terça-feira
16	12h-20h – tel – Ter.	
17	20h-8h – tel – Ter.	
18	6h30-15h30 – mot – Ter.	Horários para os bombeiros motoristas – terça-feira
19	8h-17h – mot – Ter.	
20	12h-20h – mot – Ter.	
21	15h-24h – mot – Ter.	Horários fixos para os bombeiros em EIPs – terça-feira
23	13h-21h – EIP – Ter.	
24	20h-8h – geral – Ter.	Horário da escala geral de terça-feira
25	9h-18h – fixo – Qua.	Horários para os bombeiros fixos – quarta-feira
26	8h-17h – fixo – Qua.	
27	8h-17h – tel – Qua.	Horários para os bombeiros de telecomunicações - quarta-feira
28	12h-20h – tel – Qua.	
29	20h-8h – tel – Qua.	Horários para os bombeiros de telecomunicações - quarta-feira
30	6h30-15h30 – mot – Qua.	Horários para os bombeiros motoristas – quarta-feira
31	8h-17h – mot – Qua.	
32	12h-20h – mot – Qua.	
33	15h-24h – mot – Qua.	
34	6h-14h – EIP – Qua.	Horários fixos para os bombeiros em EIPs – quarta-feira
35	13h-21h – EIP – Qua.	
36	20h-8h – geral – Qua.	Horário da escala geral de quarta-feira
37	9h-18h – fixo – Qui.	Horários para os bombeiros fixos – quinta-feira
38	8h-17h – fixo – Qui.	
39	8h-17h – tel – Qui.	Horários para os bombeiros de telecomunicações - quinta-feira
40	12h-20h – tel – Qui.	
41	20h-8h – tel – Qui.	
42	6h30-15h30 – mot – Qui.	Horários para os bombeiros motoristas – quinta-feira
43	8h-17h – mot – Qui.	
44	12h-20h – mot – Qui.	
45	15h-24h – mot – Qui.	
46	6h-14h – EIP – Qui.	Horários fixos para os bombeiros em EIPs – quinta-feira
47	13h-21h – EIP – Qui.	
48	20h-8h – geral – Qui.	Horário da escala geral de quinta-feira
49	9h-18h – fixo – Sex.	Horários para os bombeiros fixos – sexta-feira
50	8h-17h – fixo – Sex.	

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Tabela 4.1 Descrição dos horários que integram o conjunto H (continuação)

Índice	Tipo	Descrição
51	8h-17h – tel – Sex.	Horários para os bombeiros de telecomunicações - sexta-feira
52	12h-20h – tel – Sex.	
53	20h-8h – tel – Sex.	
54	6h30-15h30 – mot – Sex.	Horários para os bombeiros motoristas – sexta-feira
55	8h-17h – mot – Sex.	
56	12h-20h – mot – Sex.	
57	15h-24h – mot – Sex.	
58	6h-14h – EIP – Sex.	Horários fixos para os bombeiros em EIPs – sexta-feira
59	13h-21h – EIP – Sex.	
60	20h-8h – geral – Sex.	Horário da escala geral de sexta-feira
61	20h-8h – tel – Sáb.	Horários para os bombeiros de telecomunicações - sábado
62	8h-20h – tel – Sáb.	
63	6h30-15h30 – diálise – Sáb.	Horários de diálise ao sábado
64	7h-16h – diálise – Sáb.	
65	16h-24h – diálise – Sáb.	
66	8h-20h – geral – Sáb.	Horários da escala geral ao sábado
67	20h-8h – geral – Sáb.	
68	20h-8h – tel – Dom.	Horários para os bombeiros de telecomunicações -domingo
69	8h-20h – tel – Dom.	
70	8h-20h – geral – Dom.	Horários da escala geral ao domingo
71	20h-8h – geral – Dom.	
72	folga – segunda-feira	Dias de folga
73	folga – terça-feira	
74	folga – quarta-feira	
75	folga – quinta-feira	
76	folga – sexta-feira	
77	folga – sábado	
78	folga – domingo	

De seguida, descrevem-se os parâmetros: c_{ij} , b_i , d_j , a_{ij} , g_i e h_i e variáveis (x_{ij}) da formulação. O parâmetro c_{ij} (nível de satisfação do bombeiro) é medido através de uma escala pré-definida para cada serviço. Isto significa que cada bombeiro define as suas preferências relativamente a cada horário que pode realizar.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Parâmetros:

$c_{ij} \equiv$ nível de satisfação do bombeiro i em relação ao horário j , para todo $(i,j) \in A$

$b_i \equiv$ número máximo de horários que o bombeiro i pode realizar por semana, para todo $i \in B$

$d_j \equiv$ número mínimo de bombeiros necessários no horário j , para todo $j \in H$

$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ não estiver impedido de realizar o horário } j \\ 0 & \text{se o bombeiro } i \text{ estiver impedido de realizar o horário } j \end{cases}$,
para todo $(i,j) \in A$

$g_i = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ tiver estado ao serviço nos dois fins-de-semana anteriores,} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$,
para todo $i = 6, 7, 8$

$h_i = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ tiver realizado horário noturno no Domingo da semana anterior,} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$,
para todo $i \in B^2 \cup B^3 \cup B^4$

Variáveis:

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ realiza o horário } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$, para todo $(i,j) \in A$

Assim, considerando o conjunto de parâmetros e variáveis anteriormente definidas, pretende-se determinar uma solução que maximize a satisfação global, traduzida no variável z , ou seja,

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Esta função está sujeita a um conjunto de restrições que caracterizam o conjunto de soluções admissíveis do problema. De seguida, descrevem-se essas restrições para uma semana. De salientar que todos os dados referentes às semanas anteriores são colocados manualmente na formulação do problema.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Cada bombeiro $i \in B$ pode realizar no máximo b_i horários por semana, entre os horários possíveis para esse bombeiro (caraterizado pelos arcos em A incidentes no nodo $i \in B$). Esta condição é descrita pelas inequações (2)

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} \leq b_i \quad , \quad \text{para todo } i \in B \quad (2)$$

Cada horário $j \in H$ terá de ser coberto por pelo menos d_j bombeiros, entre os bombeiros que podem realizar esse horário (caraterizado pelos arcos em A incidentes no nodo $j \in H$). Esta condição é descrita pelas inequações (3)

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{ij} \geq d_j \quad , \quad \text{para todo } j \in H \quad (3)$$

As restrições (4) caraterizam os impedimentos, forçando a que a variável x_{ij} tome valor 0 se o respetivo parâmetro a_{ij} for nulo, isto é, se se pretender encerrar a possibilidade de o bombeiro i poder realizar o horário j .

$$x_{ij} \leq a_{ij} \quad , \quad \text{para todo } (i,j) \in A \quad (4)$$

As igualdades (5.1) e (5.2) obrigam os bombeiros fixos 1 e 2 a realizar os horários semanais fixos do tipo 1 e o bombeiro 3 a realizar os horários semanais fixos do tipo 2. Não havendo, para estes bombeiros, alternativas aos horários fixos semanais indicados, as variáveis associadas poderiam ser eliminadas. Optou-se por mantê-las, preservando a possibilidade de, no futuro, poderem vir a surgir horários fixos semanais alternativos. Os horários semanais fixos do tipo 1 envolvem o conjunto de índices $H^{51} = \{1, 13, 25, 37, 49\}$ e os horários semanais fixos do tipo 2 envolvem o conjunto de horários com índices $H^{52} = \{2, 14, 26, 38, 50\}$.

$$\sum_{j \in H^{51}} x_{ij} = 5 \quad , \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1)$$

$$\sum_{j \in H^{52}} x_{3j} = 5 \quad (5.2)$$

As restrições (6.1) a (6.5) estão associadas às bombeiras de telecomunicações ($i = 7$ e 8), caraterizando a seleção entre os horários da escala diária de segunda-feira a sexta-feira. Estas bombeiras não realizam os horários noturnos ($j = 5, 17, 29, 41$ e 53). Assim, cada

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

uma destas bombeiras, realiza o horário 8h-17h ou o horário 12h-20h, em cada dia da semana.

$$\sum_{j=3}^4 x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \quad (\text{segunda-feira}) \quad (6.1)$$

$$\sum_{j=15}^{16} x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \quad (\text{terça-feira}) \quad (6.2)$$

$$\sum_{j=27}^{28} x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \quad (\text{quarta-feira}) \quad (6.3)$$

$$\sum_{j=39}^{40} x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \quad (\text{quinta-feira}) \quad (6.4)$$

$$\sum_{j=51}^{52} x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \quad (\text{sexta-feira}) \quad (6.5)$$

As restrições (7.1) a (7.5) são semelhantes às igualdades (6.1) a (6.5), mas desta vez associadas aos bombeiros de telecomunicações ($i = 4, 5$ e 6), caracterizando também a seleção entre os horários da escala diária de segunda-feira a sexta-feira. Contrariamente ao caso anterior, estes bombeiros podem realizar os horários noturnos ($j = 5, 17, 29, 41$ e 53). Assim, cada um destes bombeiros, realiza o horário 8h-17h ou o horário 12h-20h ou o horário 20h-8h, em cada dia da semana. Como estes bombeiros podem fazer fim de semana, então as igualdades incluem as variáveis que permitem o gozo de folgas.

$$\sum_{j=3}^5 x_{ij} + x_{i,72} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (\text{segunda-feira} + \text{folga}) \quad (7.1)$$

$$\sum_{j=15}^{17} x_{ij} + x_{i,73} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (\text{terça-feira} + \text{folga}) \quad (7.2)$$

$$\sum_{j=27}^{29} x_{ij} + x_{i,74} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (\text{quarta-feira} + \text{folga}) \quad (7.3)$$

$$\sum_{j=39}^{41} x_{ij} + x_{i,75} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (\text{quinta-feira} + \text{folga}) \quad (7.4)$$

$$\sum_{j=51}^{53} x_{ij} + x_{i,76} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (\text{sexta-feira} + \text{folga}) \quad (7.5)$$

As restrições (7.6) e (7.7) dão continuidade às anteriores, incidindo também nos bombeiros de telecomunicações ($i = 4, 5$ e 6), mas caracterizando o sábado e o domingo. Desta vez, para além da possibilidade de estarem de folga em algum desses dias, os horários alternativos são: o horário 20h-8h ou o horário 8h-20h.

$$\sum_{j=61}^{62} x_{ij} + x_{i,77} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (7.6)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$\sum_{j=68}^{69} x_{ij} + x_{i,78} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (7.7)$$

As inequações (8) garantem que cada um dos 3 bombeiros (homens) de telecomunicações (incluídos no subconjunto B^2) terão pelo menos 2 dias de folga por semana. Novamente, para facilitar a indexação, considera-se o subconjunto de horários referentes a dias de folga $H^{23} \subset H$, ou seja, $H^{23} = \{72, \dots, 78\}$.

$$\sum_{j \in H^{23}} x_{ij} \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8)$$

As igualdades (9.1) a (9.3) garantem a realização do mesmo horário em todo o fim de semana (sábado e domingo) para cada um dos bombeiros (homens) de telecomunicações (que integram o conjunto B^2). Assim, entre estes bombeiros, quem realizar o horário 20h-8h ao sábado (horário 61) também realizará o mesmo horário ao domingo (horário 68), definido nas restrições (9.1); e quem realizar o 8h-20h ao sábado (horário 62) também irá realizar o mesmo horário ao domingo (horário 69), definido nas restrições (9.2). Da mesma forma, quem estiver de folga no sábado, também gozará folga no domingo, garantido pelas equações (9.3).

$$x_{i,61} = x_{i,68} \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (9.1)$$

$$x_{i,62} = x_{i,69} \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (9.2)$$

$$x_{i,77} = x_{i,78} \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (9.3)$$

As inequações (10) permitem que os bombeiros (homens) de telecomunicações (que integram o conjunto B^2) possam tirar folga ao fim de semana após terem estado em serviço nos dois fins-de-semana anteriores. O parâmetro g_i toma valor 1 se o bombeiro i tiver estado ao serviço nos dois fins-de-semana anteriores, permitindo assim que uma das variáveis $x_{i,61}$ ou $x_{i,62}$ possam tomar valor 1, gozando a respetiva folga. Esse mesmo parâmetro toma valor 0 se o bombeiro i tiver gozado folga em algum dos 2 últimos fins-de-semana, forçando as variáveis $x_{i,61}$ ou $x_{i,62}$ a tomar o valor zero, impedindo assim o gozo de folga no presente fim de semana. O valor do parâmetro g_i é um dado fornecido ao problema. Note-se ainda que, ao permitir a folga a um dos dois horários da escala de

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

sábado, fica também assegurada a folga ao domingo, garantido pelas restrições (9.1) e (9.2).

$$x_{i,61} + x_{i,62} \leq g_i \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (10)$$

As desigualdades (11) incidem novamente nos três bombeiros (homens) de telecomunicações (que integram o conjunto B^2), impedindo-os de realizar o horário da escala geral ou de diálise caso este coincida, no mesmo dia, com o horário da escala da sua especialidade. Por exemplo, se um desses bombeiros estiver a realizar o horário 5 da escala diária de segunda-Feira (horário 20h-8h), então não pode, nesse mesmo dia, realizar o horário 12 (20h-8h) da escala geral, porque se sobrepõem, repetindo-se nos restantes dias da semana, até sexta-Feira, garantido pelas restrições (11.1) a (11.5). Ao fim de semana, o processo de exclusão é mais extenso. No caso do sábado, as restrições (11.6) impedem que estes bombeiros possam assumir mais do que um horário entre os dois da escala de especialidade (61 e 62), os três horários de diálise (63, 64, e 65) e os dois horários da escala geral do fim de semana (66 e 67). Ao domingo, as restrições (11.7) asseguram que estes bombeiros assumem no máximo um dos dois horários da escala de especialidade (68 ou 69) ou um dos dois horários da escala geral do fim de semana (70 ou 71). Por fim, a inequação (11.8) assegura que se o bombeiro realizar o seu horário noturno da sua especialidade na sexta-feira, não irá realizar os horários da sua especialidade na manhã do sábado.

$$x_{i,5} + x_{i,12} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.1)$$

$$x_{i,17} + x_{i,24} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.2)$$

$$x_{i,29} + x_{i,36} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.3)$$

$$x_{i,41} + x_{i,48} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.4)$$

$$x_{i,53} + x_{i,60} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.5)$$

$$x_{i,61} + x_{i,62} + x_{i,63} + x_{i,64} + x_{i,65} + x_{i,66} + x_{i,67} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.6)$$

$$x_{i,68} + x_{i,69} + x_{i,70} + x_{i,71} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.7)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$x_{i,53} + x_{i,62} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (11.8)$$

O conjunto de restrições (12) garantem que os bombeiros em cada uma das duas equipas de EIPs realizam o mesmo horário semanal. Esses horários são o 7 (6h-14h) e o 8 (13h-21h). Note-se que o serviço de EIPs é realizado por duas equipas de 5 elementos, sendo a primeira constituída pelos bombeiros {19, 20, 21, 22, 23} e a segunda pelos bombeiros {24, 25, 26, 27, 28}, todos pertencentes ao conjunto B^4 . Neste caso, considera-se o conjunto de índices $H^{12} = \{10, 11, 22, 23, 34, 35, 46, 47, 58, 59\}$ referentes aos horários de EIP de segunda-feira a sexta-feira.

$$x_{i,j} = x_{i+1,j} \quad , \quad \text{para } i = 19, 20, 21, 22 \text{ e } j \in H^{12} \quad (12.1)$$

$$x_{i,j} = x_{i+1,j} \quad , \quad \text{para } i = 24, 25, 26, 27 \text{ e } j \in H^{12} \quad (12.2)$$

As restrições (13.1) garantem que cada bombeiro $i \in B^1$ (apenas os bombeiros fixos) têm de realizar um horário por semana da escala geral. Porém, as restrições (13.2) garantem que cada bombeiro $i \in B^2 \cup B^3 \cup B^4$ (todos, exceto os fixos e os voluntários) realizam um horário por semana da escala geral ou de diálise. Para facilitar a indexação, considera-se o subconjunto de horários $H^1 \subset H$ com $H^1 = \{12, 24, 36, 48, 60, 66, 67, 70, 71\}$, ou seja, contendo todos os horários da escala geral, desde segunda-feira a domingo. Considera-se também o subconjunto $H^2 \subset H$ com $H^2 = \{63, 64, 65\}$, contendo todos os horários de diálise a realizar ao sábado. Assim, cada bombeiro considerado nas igualdades (13.1) realiza um dos horários no conjunto H^1 e cada bombeiro caracterizado em (13.2) realiza um horário no conjunto $H^1 \cup H^2$.

$$\sum_{j \in H^1} x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1)$$

$$\sum_{j \in H^1 \cup H^2} x_{ij} = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2)$$

As restrições (14.1) e (14.2) garantem a manutenção do mesmo horário semanal para os bombeiros de EIPs. Assim, a equipa que realizar o horário 10, das 6:00 às 14:00 de segunda-feira, realizará também o mesmo horário no resto da semana (até sexta-feira), ou seja, a equipa que realizar o horário 10, realizará também os horários 22, 34, 46 e 58 (estes horários têm um espaçamento fixo de 12 em 12). Não há necessidade de definir a restrição

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

para o horário das 13:00 às 21:00 porque será assegurado pela equipa alternativa. Para este efeito, definimos o conjunto de horários $H^{14} = \{10, 22, 34, 46\}$. Estas restrições são definidas apenas para o primeiro bombeiro de cada equipa (bombeiros 19 e 24). Atendendo também às restrições (12.1) e (12.2), se $x_{19,j} = 1$, então toda a equipa do bombeiro 19 realizará os horários em H^{14} (horários das 6:00 às 14:00) e por força da igualdade (14.2), o bombeiro 24 (da outra equipa) realizará o outro horário de EIPs (horário das 13:00 às 21:00).

$$x_{i,j} = x_{i,j+12} \quad , \quad \text{para } i=19, 24 \text{ e } j \in H^{14} \quad (14.1)$$

$$x_{19,10} + x_{24,10} = 1 \quad (14.2)$$

O conjunto de restrições (15) asseguram a atribuição de horário na manhã de segunda-feira caso o bombeiro tenha realizado um horário noturno na véspera (domingo da semana anterior). Este horário noturno corresponde ao horário do serviço geral realizado entre as 20h e as 8h. Esse horário matinal de segunda-feira corresponde ao horário 3 no caso dos bombeiros de telecomunicações (conjunto B^2); corresponder a qualquer dos horários 6 ou 7 no caso dos bombeiros motoristas (conjunto B^3) e corresponde ao horário 10 no caso dos primeiros bombeiros de EIPs (conjunto B^4). O parâmetro h_i é um dado do problema, tomando o valor 1 se o bombeiro i tiver realizado um horário noturno no domingo da semana anterior. Se assim for, as restrições forçam as variáveis no membro da esquerda a tomar valor zero, impedindo a afetação aos respetivos horários matinais de segunda-feira.

$$x_{i,3} \leq 1 - h_i \quad , \quad \text{para } i \in B^2 \quad (15.1)$$

$$x_{i,6} + x_{i,7} \leq 1 - h_i \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \quad (15.2)$$

$$x_{i,10} \leq 1 - h_i \quad , \quad \text{para } i \in B^4 \quad (15.3)$$

As restrições (16.1) a (16.4) asseguram que os bombeiros motoristas não executam o horário da manhã da sua especialidade caso estes tenham realizado o horário noturna na véspera. Os horários matinais do serviço de motoristas abrangidos nestas restrições são o

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

horário 9, 21, 33 e 45. Já os horários noturnos do serviço motorista abrangidos nestas restrições são os horários 18, 30, 42 e 54.

$$x_{i,9} + x_{i,18} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \quad (16.1)$$

$$x_{i,21} + x_{i,30} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \quad (16.2)$$

$$x_{i,33} + x_{i,42} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \quad (16.3)$$

$$x_{i,45} + x_{i,54} \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \quad (16.4)$$

Por fim, restam apenas as condições de integralidade que asseguram que todas as variáveis do modelo são binárias, o que é fundamental para garantir algumas das condições anteriormente definidas. Estas condições são definidas em (17).

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad , \quad \text{para todo } (i,j) \in A \quad (17)$$

De uma forma resumida, destacam-se os conjuntos de restrições (5), (6) e (7) que asseguram que cada bombeiro efetivo i realiza um só horário j (da sua especialidade) por dia da semana. Destaca-se ainda que as restrições (13) garantem que os bombeiros efetivos apenas realizam um horário j de voluntariado (da escala geral) ou de diálise por semana.

Adicionalmente, os conjuntos de restrições (8), (9), (10) e (11) surgem devido à obrigatoriedade de os bombeiros de telecomunicações terem de se apresentar ao serviço nos 7 dias da semana. Deste modo, é obrigatório que os mesmos tenham pelo menos 2 dias de folga (restrições (8)) e que não realizem horário de voluntariado (escala geral) caso estejam ao serviço, na sua especialidade, das 20h-8h (restrições (11)). Relativamente aos fim de semana, um bombeiro de telecomunicação realiza o mesmo horário, caso escalado, no sábado e no domingo (restrições (9)) e a cada dois fins-de-semana consecutivos ao serviço, o terceiro é de folga (restrições (10)).

O conjunto de restrições (12) garantem que o serviço de intervenção permanente (EIPs) é realizado por equipas de cinco elementos. Estas equipas mantêm-se inalteradas, mesmo que surja algum impedimento de algum dos elementos da equipa.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

As igualdades (14) garantem que os bombeiros de EIPs realizam o mesmo horário ao longo da semana (de segunda-feira a sexta-feira).

O conjunto de restrições (15) asseguram que os bombeiros efetivos de telecomunicações, motoristas e EIPs não podem iniciar a semana (segunda-feira) com um horário no período da manhã, caso tenham estado ao serviço no final do dia do domingo anterior (das 20h-8h).

Por último, o conjunto de restrições (16) assegura que os bombeiros motoristas não realizam o horário da manhã da sua especialidade caso tenham realizado o horário noturna na véspera.

4.3 Formulação com feriados

A formulação base contempla todas as semanas designadas de “semanas regulares”, ou seja, semanas em que não ocorrem feriados. Porém, quando a semana contém feriados, o processo operacional é diferente, obrigando ao modificar a formulação anterior.

Em termos práticos, um dia de feriado comporta-se como um sábado, ou seja, se uma dada semana tiver, por exemplo, um feriado à terça-feira, as escalas originalmente previstas passam a comportar-se como escalas de um sábado, deixando de haver os horários de especialização de cada bombeiro, passando a existir apenas horários gerais, horários de telecomunicações e horários da diálise. De acordo com o calendário português, não existe qualquer semana com dois dias de feriado.

Nestas circunstâncias, foi necessário redefinir o conjunto de horários (H), mantendo-se inalterado o conjunto dos bombeiros (B). Assim, o novo conjunto de todos os horários passa a incluir os horários em dias de feriado (de segunda a sexta-feira), passando a compreender $|H| = 113$ horários.

A Tabela 4.2 representa a lista de horários que vigora em dias de feriado. O conjunto H passará a conter os horários descritos na Tabela 4.1 e os novos horários agora apresentados na Tabela 4.2.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Tabela 4.2 Descrição dos horários em dias de feriado que integram o conjunto H

Índice	Tipo	Descrição
79	20h-8h – tel – Seg.	Horários para os bombeiros de telecomunicações – feriado segunda-feira
80	8h-20h – tel – Seg.	
81	6h30-15h30 – diálise – Seg.	Horários de diálise – feriado segunda-feira
82	7h-16h – diálise – Seg.	
83	16h-24h – diálise – Seg.	
84	8h-20h – geral – Seg.	Horários da escala geral – feriado segunda-feira
85	20h-8h – geral – Seg.	
86	20h-8h – tel – Ter.	Horários para os bombeiros de telecomunicações – feriado terça-feira
87	8h-20h – tel – Ter.	
88	6h30-15h30 – diálise – Ter.	Horários de diálise – feriado terça-feira
89	7h-16h – diálise – Ter.	
90	16h-24h – diálise – Ter.	
91	8h-20h – geral – Ter.	Horários da escala geral – feriado terça-feira
92	20h-8h – geral – Ter.	
93	20h-8h – tel – Qua.	Horários para os bombeiros de Telecomunicações – feriado quarta-feira
94	8h-20h – tel – Qua.	
95	6h30-15h30 – diálise – Qua.	Horários de diálise – feriado quarta-feira
96	7h-16h – diálise – Qua.	
97	16h-24h – diálise – Qua.	
98	8h-20h – geral – Qua.	Horários da escala geral – feriado quarta-feira
99	20h-8h – geral – Qua.	
100	20h-8h – tel – Qui.	Horários para os bombeiros de telecomunicações – feriado quinta-feira
101	8h-20h – tel – Qui.	
102	6h30-15h30 – diálise – Qui.	Horários de diálise – feriado quinta-feira
103	7h-16h – diálise – Qui.	
104	16h-24h – diálise – Qui.	
105	8h-20h – geral – Qui.	Horários da escala geral – feriado quinta-feira
106	20h-8h – geral – Qui.	

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Tabela 4.2 Descrição dos horários em dias de feriado que integram o conjunto H (continuação)

Índice	Tipo	Descrição
107	20h-8h – tel – Sex.	Horários para os bombeiros de telecomunicações – feriado sexta-feira
108	8h-20h – tel – Sex.	
109	6h30-15h30 – diálise – Sex.	Horários de diálise – feriado sexta-feira
110	7h-16h – diálise – Sex.	
111	16h-24h – diálise – Sex.	
112	8h-20h – geral – Sex.	Horários da escala geral – feriado sexta-feira
113	20h-8h – geral – Sex.	

A Tabela 4.1 e 4.2 desdobraram-se em conjuntos de horários diários. Cada um destes conjuntos engloba todos os horários disponíveis no dia da semana a que esse conjunto diz respeito. O conjunto H é então decomposto nos seguintes subconjuntos $H = H^1 \cup H^2 \cup H^3 \cup H^4 \cup H^5 \cup H^6 \cup H^7 \cup H^8 \cup H^9 \cup H^{10} \cup H^{11}$, com:

H^1 = conjunto de horários regulares de segunda-feira, com a respetiva folga ($|H^1|=13$);

H^2 = conjunto de horários regulares de terça-feira, com a respetiva folga ($|H^2|=13$);

H^3 = conjunto de horários regulares de quarta-feira, com a respetiva folga ($|H^3|=13$);

H^4 = conjunto de horários regulares de quinta-feira, com a respetiva folga ($|H^4|=13$);

H^5 = conjunto de horários regulares de sexta-feira, com a respetiva folga ($|H^5|=13$);

H^6 = conjunto de horários regulares de fim de semana, com as respetivas folgas ($|H^6|=13$);

H^7 = conjunto de horários a realizar quando o feriado é à segunda-feira ($|H^7|=7$);

H^8 = conjunto de horários a realizar quando o feriado é à terça-feira ($|H^8|=7$);

H^9 = conjunto de horários a realizar quando o feriado é à quarta-feira ($|H^9|=7$);

H^{10} = conjunto de horários a realizar quando o feriado é à quinta-feira ($|H^{10}|=7$);

H^{11} = conjunto de horários a realizar quando o feriado é à sexta-feira ($|H^{11}|=7$).

Consequentemente, o problema de planeamento de horários e turnos em estudo pode ser descrito em onze grafos bipartidos. Cada um desses grafos é representado por $G^k = (M^k, D^k)$, no qual o conjunto de nodos M^k se decompõe nos nodos B e H^k , com $M^k = B \cup H^k$,

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

sendo o conjunto de arcos caracterizado por $D^k = \{(i,j) : i \in B, j \in H^k\}$, se o bombeiro i puder realizar o horário j , para $k=1, \dots, 11$. Por exemplo, quando $k=1$, o grafo G^1 represente todas as afetações de bombeiros a horários de uma segunda-feira regular (conjunto de arcos D^1); quando $k=2$, o grafo G^2 representa todas as afetações de bombeiros a horários de uma terça-feira regular (conjunto de arcos D^2); e assim sucessivamente. Se $k=7$, o grafo G^7 representa todas as afetações de bombeiros a horários de um feriado à segunda-feira, e assim sucessivamente.

Tanto os parâmetros como as variáveis anteriormente considerados sofreram alterações, concordantes com a discriminação associada aos novos grafos. Essa discriminação é definida no índice adicional k (em *superscript*) incluído em alguns parâmetros e nas variáveis.

Parâmetros:

$c_{ij}^k \equiv$ nível de satisfação do bombeiro i em relação ao horário j , para todo $(i,j) \in H^k$ e com $k=1, \dots, 11$.

$b_i \equiv$ número máximo de horários que o bombeiro i pode realizar durante o dia, para todo $i \in B$

$d_j^k \equiv$ número mínimo de bombeiros necessários no horário j , para todo $j \in H^k$ e com $k=1, \dots, 11$.

$a_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ não estiver impedido de realizar o horário } j \\ 0 & \text{se o bombeiro } i \text{ estiver impedido de realizar o horário } j \end{cases}$,
para todo $(i,j) \in D^k$ e com $k=1, \dots, 11$.

$g_i = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ tiver estado ao serviço nos dois fins-de-semana anteriores} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$,
para todo $i = 6, 7, 8$

$h_i = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ tiver realizado horário noturno no Domingo da semana anterior} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$,
para todo $i \in B^2 \cup B^3 \cup B^4$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Variáveis:

Conjuntos de variáveis de afetação (bombeiro, horário).

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{se o bombeiro } i \text{ realiza o horário } j \\ 0 & \text{no caso contrário} \end{cases}, \text{ para todo } (i,j) \in D^k, \text{ com } k = 1, \dots, 11.$$

Assim, considerando os novos conjuntos de parâmetros e variáveis, pretende-se determinar uma solução que maximize a satisfação global, respeitando as condições operacionais anteriormente descritas, incluindo, no presente caso, as condições específicas associadas à ocorrência de um feriado a um dia de semana.

Começamos por definir a função objetivo:

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in D^1} c_{ij}^1 x_{ij}^1 + \sum_{(i,j) \in D^2} c_{ij}^2 x_{ij}^2 + \sum_{(i,j) \in D^3} c_{ij}^3 x_{ij}^3 + \sum_{(i,j) \in D^4} c_{ij}^4 x_{ij}^4 + \sum_{(i,j) \in D^5} c_{ij}^5 x_{ij}^5 + \sum_{(i,j) \in D^6} c_{ij}^6 x_{ij}^6 \quad (1.1)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in D^7} c_{ij}^7 x_{ij}^7 + \sum_{(i,j) \in D^2} c_{ij}^2 x_{ij}^2 + \sum_{(i,j) \in D^3} c_{ij}^3 x_{ij}^3 + \sum_{(i,j) \in D^4} c_{ij}^4 x_{ij}^4 + \sum_{(i,j) \in D^5} c_{ij}^5 x_{ij}^5 + \sum_{(i,j) \in D^6} c_{ij}^6 x_{ij}^6 \quad (1.2)$$

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in D^1} c_{ij}^1 x_{ij}^1 + \sum_{(i,j) \in D^8} c_{ij}^8 x_{ij}^8 + \sum_{(i,j) \in D^3} c_{ij}^3 x_{ij}^3 + \sum_{(i,j) \in D^4} c_{ij}^4 x_{ij}^4 + \sum_{(i,j) \in D^5} c_{ij}^5 x_{ij}^5 + \sum_{(i,j) \in D^6} c_{ij}^6 x_{ij}^6 \quad (1.3)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in D^1} c_{ij}^1 x_{ij}^1 + \sum_{(i,j) \in D^2} c_{ij}^2 x_{ij}^2 + \sum_{(i,j) \in D^9} c_{ij}^9 x_{ij}^9 + \sum_{(i,j) \in D^4} c_{ij}^4 x_{ij}^4 + \sum_{(i,j) \in D^5} c_{ij}^5 x_{ij}^5 + \sum_{(i,j) \in D^6} c_{ij}^6 x_{ij}^6 \quad (1.4)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in D^1} c_{ij}^1 x_{ij}^1 + \sum_{(i,j) \in D^2} c_{ij}^2 x_{ij}^2 + \sum_{(i,j) \in D^3} c_{ij}^3 x_{ij}^3 + \sum_{(i,j) \in D^{10}} c_{ij}^{10} x_{ij}^{10} + \sum_{(i,j) \in D^5} c_{ij}^5 x_{ij}^5 + \sum_{(i,j) \in D^6} c_{ij}^6 x_{ij}^6 \quad (1.5)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

- Se for uma semana com feriado à sexta-feira

$$\text{maximizar } z = \sum_{(i,j) \in D^1} c_{ij}^1 x_{ij}^1 + \sum_{(i,j) \in D^2} c_{ij}^2 x_{ij}^2 + \sum_{(i,j) \in D^3} c_{ij}^3 x_{ij}^3 + \sum_{(i,j) \in D^4} c_{ij}^4 x_{ij}^4 + \sum_{(i,j) \in D^{11}} c_{ij}^{11} x_{ij}^{11} + \sum_{(i,j) \in D^6} c_{ij}^6 x_{ij}^6 \quad (1.6)$$

Cada função está sujeita a um conjunto de restrições que caracterizam o conjunto de soluções admissíveis do problema.

Restrições:

Bloco de restrições (2):

Cada bombeiro $i \in B$ pode realizar no máximo b_i horários por semana, entre os horários possíveis para esse bombeiro (caraterizado pelos arcos de D^k incidentes no nodo $i \in B$, para $k=1, \dots, 11$).

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$\sum_{j:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 + \sum_{j:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 + \sum_{j:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 + \sum_{j:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 + \sum_{j:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 + \sum_{j:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \leq b_i, \quad \text{para todo } i \in B \quad (2.1)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$\sum_{j:(i,j) \in D^7} x_{ij}^7 + \sum_{j:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 + \sum_{j:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 + \sum_{j:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 + \sum_{j:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 + \sum_{j:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \leq b_i, \quad \text{para todo } i \in B \quad (2.2)$$

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$\sum_{j:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 + \sum_{j:(i,j) \in D^8} x_{ij}^8 + \sum_{j:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 + \sum_{j:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 + \sum_{j:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 + \sum_{j:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \leq b_i, \quad \text{para todo } i \in B \quad (2.3)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$\sum_{j:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 + \sum_{j:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 + \sum_{j:(i,j) \in D^9} x_{ij}^9 + \sum_{j:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 + \sum_{j:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 + \sum_{j:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \leq b_i, \quad \text{para todo } i \in B \quad (2.4)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$\sum_{j:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 + \sum_{j:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 + \sum_{j:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 + \sum_{j:(i,j) \in D^{10}} x_{ij}^{10} + \sum_{j:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 + \sum_{j:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \leq b_i, \quad \text{para todo } i \in B \quad (2.5)$$

- Se for uma semana com feriado à sexta-feira

$$\sum_{j:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 + \sum_{j:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 + \sum_{j:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 + \sum_{j:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 + \sum_{j:(i,j) \in D^{11}} x_{ij}^{11} + \sum_{j:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \leq b_i, \quad \text{para todo } i \in B \quad (2.6)$$

Bloco de restrições (3):

Cada horário $j \in H^k$ será coberto por pelo menos d_j^k bombeiros, entre os bombeiros que podem realizar esse horário (caraterizado pelos arcos D^k incidentes no nodo $j \in H^k$, com $k=1, \dots, 11$).

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$\sum_{i:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 \geq d_j^1, \quad \text{para todo } j \in H^1 \quad (3.1.1)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 \geq d_j^2, \quad \text{para todo } j \in H^2 \quad (3.1.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 \geq d_j^3, \quad \text{para todo } j \in H^3 \quad (3.1.3)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 \geq d_j^4, \quad \text{para todo } j \in H^4 \quad (3.1.4)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 \geq d_j^5, \quad \text{para todo } j \in H^5 \quad (3.1.5)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \geq d_j^6, \quad \text{para todo } j \in H^6 \quad (3.1.6)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$\sum_{i:(i,j) \in D^7} x_{ij}^7 \geq d_j^7, \quad \text{para todo } j \in H^7 \quad (3.2.1)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 \geq d_j^2, \quad \text{para todo } j \in H^2 \quad (3.2.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 \geq d_j^3, \quad \text{para todo } j \in H^3 \quad (3.2.3)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 \geq d_j^4, \quad \text{para todo } j \in H^4 \quad (3.2.4)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 \geq d_j^5, \quad \text{para todo } j \in H^5 \quad (3.2.5)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$\sum_{i:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \geq d_j^6, \quad \text{para todo } j \in H^6 \quad (3.2.6)$$

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$\sum_{i:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 \geq d_j^1, \quad \text{para todo } j \in H^1 \quad (3.3.1)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^8} x_{ij}^8 \geq d_j^8, \quad \text{para todo } j \in H^2 \quad (3.3.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 \geq d_j^3, \quad \text{para todo } j \in H^3 \quad (3.3.3)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 \geq d_j^4, \quad \text{para todo } j \in H^4 \quad (3.3.4)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 \geq d_j^5, \quad \text{para todo } j \in H^5 \quad (3.3.5)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \geq d_j^6, \quad \text{para todo } j \in H^6 \quad (3.3.6)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$\sum_{i:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 \geq d_j^1, \quad \text{para todo } j \in H^1 \quad (3.4.1)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 \geq d_j^2, \quad \text{para todo } j \in H^2 \quad (3.4.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^9} x_{ij}^9 \geq d_j^9, \quad \text{para todo } j \in H^9 \quad (3.4.3)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 \geq d_j^4, \quad \text{para todo } j \in H^4 \quad (3.4.4)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 \geq d_j^5, \quad \text{para todo } j \in H^5 \quad (3.4.5)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \geq d_j^6, \quad \text{para todo } j \in H^6 \quad (3.4.6)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

$$\sum_{i:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 \geq d_j^1, \quad \text{para todo } j \in H^1 \quad (3.5.1)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 \geq d_j^2, \quad \text{para todo } j \in H^2 \quad (3.5.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 \geq d_j^3, \quad \text{para todo } j \in H^3 \quad (3.5.3)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^{10}} x_{ij}^{10} \geq d_j^{10}, \quad \text{para todo } j \in H^{10} \quad (3.5.4)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^5} x_{ij}^5 \geq d_j^5, \quad \text{para todo } j \in H^5 \quad (3.5.5)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$\sum_{i:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \geq d_j^6, \quad \text{para todo } j \in H^6 \quad (3.5.6)$$

- Se for uma semana com feriado à sexta-feira

$$\sum_{i:(i,j) \in D^1} x_{ij}^1 \geq d_j^1, \quad \text{para todo } j \in H^1 \quad (3.6.1)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^2} x_{ij}^2 \geq d_j^2, \quad \text{para todo } j \in H^2 \quad (3.6.2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^3} x_{ij}^3 \geq d_j^3, \quad \text{para todo } j \in H^3 \quad (3.6.3)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^4} x_{ij}^4 \geq d_j^4, \quad \text{para todo } j \in H^4 \quad (3.6.4)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^{11}} x_{ij}^{11} \geq d_j^{11}, \quad \text{para todo } j \in H^{11} \quad (3.6.5)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in D^6} x_{ij}^6 \geq d_j^6, \quad \text{para todo } j \in H^6 \quad (3.6.6)$$

Bloco de restrições (4):

O conjunto de restrições (4) caracterizam os impedimentos, forçando a anulação da variável x_{ij}^k se o respetivo parâmetro a_{ij}^k for nulo, com $k = 1, \dots, 11$, isto é, se se pretender encerrar a possibilidade de o bombeiro i poder realizar o horário j .

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$x_{ij}^1 \leq a_{ij}^1, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^1 \quad (4.1.1)$$

$$x_{ij}^2 \leq a_{ij}^2, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^2 \quad (4.1.2)$$

$$x_{ij}^3 \leq a_{ij}^3, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^3 \quad (4.1.3)$$

$$x_{ij}^4 \leq a_{ij}^4, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^4 \quad (4.1.4)$$

$$x_{ij}^5 \leq a_{ij}^5, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^5 \quad (4.1.5)$$

$$x_{ij}^6 \leq a_{ij}^6, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^6 \quad (4.1.6)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$x_{ij}^7 \leq a_{ij}^7, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^7 \quad (4.2.1)$$

$$x_{ij}^2 \leq a_{ij}^2, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^2 \quad (4.2.2)$$

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

$$x_{ij}^3 \leq a_{ij}^3, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^3 \quad (4.2.3)$$

$$x_{ij}^4 \leq a_{ij}^4, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^4 \quad (4.2.4)$$

$$x_{ij}^5 \leq a_{ij}^5, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^5 \quad (4.2.5)$$

$$x_{ij}^6 \leq a_{ij}^6, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^6 \quad (4.2.6)$$

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$x_{ij}^1 \leq a_{ij}^1, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^1 \quad (4.3.1)$$

$$x_{ij}^8 \leq a_{ij}^8, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^8 \quad (4.3.2)$$

$$x_{ij}^3 \leq a_{ij}^3, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^3 \quad (4.3.3)$$

$$x_{ij}^4 \leq a_{ij}^4, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^4 \quad (4.3.4)$$

$$x_{ij}^5 \leq a_{ij}^5, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^5 \quad (4.3.5)$$

$$x_{ij}^6 \leq a_{ij}^6, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^6 \quad (4.3.6)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$x_{ij}^1 \leq a_{ij}^1, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^1 \quad (4.4.1)$$

$$x_{ij}^2 \leq a_{ij}^2, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^2 \quad (4.4.2)$$

$$x_{ij}^9 \leq a_{ij}^9, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^9 \quad (4.4.3)$$

$$x_{ij}^4 \leq a_{ij}^4, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^4 \quad (4.4.4)$$

$$x_{ij}^5 \leq a_{ij}^5, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^5 \quad (4.4.5)$$

$$x_{ij}^6 \leq a_{ij}^6, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^6 \quad (4.4.6)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

$$x_{ij}^1 \leq a_{ij}^1, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^1 \quad (4.5.1)$$

$$x_{ij}^2 \leq a_{ij}^2, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^2 \quad (4.5.2)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$x_{ij}^3 \leq a_{ij}^3, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^3 \quad (4.5.3)$$

$$x_{ij}^{10} \leq a_{ij}^{10}, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^{10} \quad (4.5.4)$$

$$x_{ij}^5 \leq a_{ij}^5, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^5 \quad (4.5.5)$$

$$x_{ij}^6 \leq a_{ij}^6, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^6 \quad (4.5.6)$$

- Se for uma semana com feriado à sexta-feira

$$x_{ij}^1 \leq a_{ij}^1, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^1 \quad (4.6.1)$$

$$x_{ij}^2 \leq a_{ij}^2, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^2 \quad (4.6.2)$$

$$x_{ij}^3 \leq a_{ij}^3, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^3 \quad (4.6.3)$$

$$x_{ij}^4 \leq a_{ij}^4, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^4 \quad (4.6.4)$$

$$x_{ij}^{11} \leq a_{ij}^{11}, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^{11} \quad (4.6.5)$$

$$x_{ij}^6 \leq a_{ij}^6, \quad \text{para todo } (i,j) \in D^6 \quad (4.6.6)$$

Bloco de restrições (5):

As igualdades (5.1) e (5.2) obrigam os bombeiros fixos 1 e 2 a realizar os horários semanais fixos 1 e o bombeiro 3 a realizar os horários semanais fixos 2. Não havendo, para estes bombeiros, alternativas aos horários fixos semanais indicados, as variáveis associadas poderiam ser eliminadas.

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$x_{i,1}^1 + x_{i,13}^2 + x_{i,25}^3 + x_{i,37}^4 + x_{i,49}^5 = 5, \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1.1)$$

$$x_{i,2}^1 + x_{i,14}^2 + x_{i,26}^3 + x_{i,38}^4 + x_{i,50}^5 = 5, \quad \text{para } i = 1 \quad (5.2.1)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$x_{i,13}^2 + x_{i,25}^3 + x_{i,37}^4 + x_{i,49}^5 = 4, \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1.2)$$

$$x_{i,14}^2 + x_{i,26}^3 + x_{i,37}^4 + x_{i,49}^5 = 4, \quad \text{para } i = 1 \quad (5.2.2)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$x_{i,1}^1 + x_{i,25}^3 + x_{i,37}^4 + x_{i,49}^5 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1.3)$$

$$x_{i,2}^1 + x_{i,26}^3 + x_{i,38}^4 + x_{i,50}^5 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1 \quad (5.2.3)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$x_{i,1}^1 + x_{i,13}^2 + x_{i,37}^4 + x_{i,49}^5 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1.4)$$

$$x_{i,2}^1 + x_{i,14}^2 + x_{i,38}^4 + x_{i,50}^5 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1 \quad (5.2.4)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

$$x_{i,1}^1 + x_{i,13}^2 + x_{i,25}^3 + x_{i,49}^5 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1.5)$$

$$x_{i,2}^1 + x_{i,14}^2 + x_{i,26}^3 + x_{i,50}^5 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1 \quad (5.2.5)$$

- Se for uma semana com feriado à sexta-feira

$$x_{i,1}^1 + x_{i,13}^2 + x_{i,25}^3 + x_{i,37}^4 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1, 2 \quad (5.1.6)$$

$$x_{i,2}^1 + x_{i,14}^2 + x_{i,26}^3 + x_{i,38}^4 = 4 \quad , \quad \text{para } i = 1 \quad (5.2.6)$$

Bloco de restrições (6):

As restrições (6) estão associadas às bombeiras de telecomunicações ($i = 7$ e 8), caracterizando a seleção entre os horários da escala diária de segunda-feira a sexta-feira. Estas bombeiras não realizam os horários noturnos ($j = 5, 17, 29, 41$ e 53). Assim, cada uma destas bombeiras, realiza o horário 8h-17h ou o horário 12h-20h, em cada dia da semana.

$$\sum_{j=3}^4 x_{i,j}^1 = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira)} \quad (6.1)$$

$$\sum_{j=15}^{16} x_{i,j}^2 = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira)} \quad (6.2)$$

$$\sum_{j=27}^{28} x_{i,j}^3 = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira)} \quad (6.3)$$

$$\sum_{j=39}^{40} x_{i,j}^4 = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira)} \quad (6.4)$$

$$\sum_{j=51}^{52} x_{i,j}^5 = 1 \quad , \quad \text{para } i = 7, 8 \text{ (eliminar se feriado à sexta -feira)} \quad (6.5)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Nas semanas em que existe feriado, a restrição correspondente ao dia de feriado fica inativa. Por exemplo, se na semana em análise existir feriado à segunda, a restrição 6.1 fica inativa, pois é feriado nesse dia da semana, e assim sucessivamente.

Bloco de restrições (7):

As restrições (7) são semelhantes às igualdades (6), mas desta vez associadas aos bombeiros de telecomunicações ($i = 4, 5$ e 6), caracterizando também a seleção entre os horários da escala diária de segunda-feira a sexta-feira. Contrariamente ao caso anterior, estes bombeiros podem realizar os horários noturnos ($j = 5, 17, 29, 41$ e 53). Assim, cada um destes bombeiros, realiza o horário 8h-17h ou o horário 12h-20h ou o horário 20h-8h, em cada dia da semana. Como estes bombeiros podem fazer fim de semana, então as igualdades incluem as variáveis que permitem o gozo de folgas.

$$\sum_{j=3}^5 x_{i,j}^1 + x_{i,72}^1 = 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira)} \quad (7.1)$$

$$\sum_{j=15}^{17} x_{i,j}^2 + x_{i,73}^2 = 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira)} \quad (7.2)$$

$$\sum_{j=27}^{29} x_{i,j}^3 + x_{i,74}^3 = 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira)} \quad (7.3)$$

$$\sum_{j=39}^{41} x_{i,j}^4 + x_{i,75}^4 = 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira)} \quad (7.4)$$

$$\sum_{j=51}^{53} x_{i,j}^5 + x_{i,76}^5 = 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à sexta-feira)} \quad (7.5)$$

Este conjunto de restrições mantém-se independente da semana conter dias de feriados ou não. Contudo, nas semanas que existe feriado, a restrição correspondente ao dia de feriado fica inativa. Por exemplo, se na semana em análise existir um feriado à segunda, a restrição 7.1 fica inativa, pois é feriado nesse dia da semana, e assim sucessivamente.

As restrições (7.6) e (7.7) dão continuidade às anteriores, incidindo também nos bombeiros de telecomunicações ($i = 4, 5$ e 6), mas caracterizando o sábado e o domingo. Desta vez, para além da possibilidade de estarem de folga em algum desses dias, os horários alternativos são: o horário 20h-8h ou o horário 8h-20h.

$$\sum_{j=61}^{62} x_{i,j}^6 + x_{i,77}^6 = 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \quad (7.6)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$\sum_{j=68}^{69} x_{i,j}^6 + x_{i,78}^5 = 1 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (7.7)$$

Este conjunto de restrições mantém-se independente da semana conter dias de feriados ou não.

Bloco de restrições (8):

As inequações (8) garantem que cada um dos 3 bombeiros (homens) de telecomunicações (incluídos no subconjunto B^2) terão pelo menos 2 dias de folga por semana.

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$x_{i,72}^1 + x_{i,73}^2 + x_{i,74}^3 + x_{i,75}^4 + x_{i,76}^5 + x_{i,77}^6 + x_{i,78}^6 \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8.1)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$x_{i,73}^2 + x_{i,74}^3 + x_{i,75}^4 + x_{i,76}^5 + x_{i,77}^6 + x_{i,78}^6 \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8.2)$$

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$x_{i,72}^1 + x_{i,74}^3 + x_{i,75}^4 + x_{i,76}^5 + x_{i,77}^6 + x_{i,78}^6 \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8.3)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$x_{i,72}^1 + x_{i,73}^2 + x_{i,75}^4 + x_{i,76}^5 + x_{i,77}^6 + x_{i,78}^6 \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8.4)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

$$x_{i,72}^1 + x_{i,73}^2 + x_{i,74}^3 + x_{i,76}^5 + x_{i,77}^6 + x_{i,78}^6 \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8.5)$$

- Se for uma semana com feriado à sexta-feira

$$x_{i,72}^1 + x_{i,73}^2 + x_{i,74}^3 + x_{i,75}^4 + x_{i,77}^6 + x_{i,78}^6 \geq 2 \quad , \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (8.6)$$

Bloco de restrições (9):

As igualdades (9.1) a (9.3) garantem a realização do mesmo horário em todo o fim de semana (sábado e domingo) para cada um dos bombeiros (homens) de telecomunicações (que integram o conjunto B^2). Assim, entre estes bombeiros, quem realizar o horário 20h-8h ao sábado (horário 61) também realizará o mesmo horário ao domingo (horário 68), definido nas restrições (9.1); e quem realizar o 8h-20h ao sábado (horário 62) também irá

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

realizar o mesmo horário ao domingo (horário 69), definido nas restrições (9.2). Da mesma forma, quem estiver de folga no sábado, também gozará folga no domingo, garantido pelas equações (9.3).

$$x_{i,61}^6 = x_{i,68}^6, \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (9.1)$$

$$x_{i,62}^6 = x_{i,69}^6, \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (9.2)$$

$$x_{i,77}^6 = x_{i,78}^6, \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (9.3)$$

Este conjunto de restrições mantém-se independente da semana conter dias de feriados ou não.

Bloco de restrições (10):

As inequações (10) permitem que os bombeiros (homens) de telecomunicações (que integram o conjunto B^2) possam tirar folga ao fim de semana após terem estado em serviço nos dois fins-de-semana anteriores. O parâmetro g_i toma valor 1 se o bombeiro i tiver estado ao serviço nos dois fins-de-semana anteriores, permitindo assim que uma das variáveis $x_{i,61}$ ou $x_{i,62}$ possam tomar valor 1, gozando a respetiva folga. Esse mesmo parâmetro toma valor 0 se o bombeiro i tiver gozado folga em algum dos 2 últimos fins-de-semana, forçando as variáveis $x_{i,61}^6$ ou $x_{i,62}^6$ a tomar o valor zero, impedindo assim o gozo de folga no presente fim de semana. O valor do parâmetro g_i é um dado fornecido ao problema. Note-se ainda que, ao permitir a folga a um dos dois horários da escala de sábado, fica também assegurada a folga ao domingo, garantido pelas restrições (9.1) e (9.2).

$$x_{i,61}^6 + x_{i,62}^6 \leq g_i, \quad \text{para } i = 4, 5, 6 \quad (10)$$

Este conjunto de restrições mantém-se independente da semana conter dias de feriados ou não.

Bloco de restrições (11):

As desigualdades (11) incide novamente nos três bombeiros (homens) de telecomunicações (que integram o conjunto B^2), impedindo-os de realizar o horário da

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

escala geral ou de diálise caso este coincida, no mesmo dia, com o horário da escala da sua especialidade. Ao fim de semana, o processo de exclusão é mais extenso. No caso do sábado, as restrições (11.6) impedem que estes bombeiros possam assumir mais do que um horário entre os dois da escala de especialidade (61 e 62), os três horários de diálise (63, 64, e 65) e os dois horários da escala geral do fim de semana (66 e 67). Ao domingo, as restrições (11.7) asseguram que estes bombeiros assumem no máximo um dos dois horários da escala de especialidade (68 ou 69) ou um dos dois horários da escala geral do fim de semana (70 ou 71). Por fim, a inequação (11.8) assegura que o bombeiro se realizar o seu horário noturno da sua especialidade na sexta-feira, não irá realizar o horário da sua especialidade manhã no sábado.

$$x_{i,5}^1 + x_{i,12}^1 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira)} \quad (11.1)$$

$$x_{i,17}^2 + x_{i,24}^2 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira)} \quad (11.2)$$

$$x_{i,29}^3 + x_{i,36}^3 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira)} \quad (11.3)$$

$$x_{i,41}^4 + x_{i,48}^4 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira)} \quad (11.4)$$

$$x_{i,53}^5 + x_{i,60}^5 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à sexta-feira)} \quad (11.5)$$

$$x_{i,61}^6 + x_{i,62}^6 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \quad (11.6)$$

$$x_{i,68}^6 + x_{i,69}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \quad (11.7)$$

$$x_{i,53}^5 + x_{i,62}^6 \leq 1, \text{ para } i = 4, 5, 6 \text{ (eliminar se feriado à sexta-feira)} \quad (11.8)$$

Este conjunto de restrições mantém-se independente da semana conter dias de feriados ou não. Contudo, nas semanas que existe feriado, a restrição correspondente ao dia de feriado fica inativa. Por exemplo, se na semana em análise existir um feriado à segunda, a restrição 11.1 fica inativa, pois é feriado nesse dia da semana e assim sucessivamente. Salientando que se a semana em análise conter um feriado à sexta-feira, tanto a restrição 11.5 e 11.8 ficarão inativas.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Bloco de restrições (12):

As restrições (12.1) a (12.5) asseguram que os bombeiros em cada uma das duas equipas de EIPs realizam o mesmo horário semanal. Esses horários são o 7 (6h-14h) e o 8 (13h-21h). Note-se que o serviço de EIPs é realizado por duas equipas de 5 elementos, sendo a primeira constituída pelos bombeiros {19, 20, 21, 22, 23} e a segunda pelos bombeiros {24, 25, 26, 27, 28}, todos pertencentes ao conjunto B^4 .

$$x_{i,j}^1 = x_{i+1,j}^1, \text{ para } i = 19, 20, 21, 22 \text{ e } j \in H^1 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira)} \quad (12.1)$$

$$x_{i,j}^2 = x_{i+1,j}^2, \text{ para } i = 24, 25, 26, 27 \text{ e } j \in H^2 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira)} \quad (12.2)$$

$$x_{i,j}^3 = x_{i+1,j}^3, \text{ para } i = 19, 20, 21, 22 \text{ e } j \in H^3 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira)} \quad (12.3)$$

$$x_{i,j}^4 = x_{i+1,j}^4, \text{ para } i = 24, 25, 26, 27 \text{ e } j \in H^4 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira)} \quad (12.4)$$

$$x_{i,j}^5 = x_{i+1,j}^5, \text{ para } i = 24, 25, 26, 27 \text{ e } j \in H^5 \text{ (eliminar se feriado à sexta-feira)} \quad (12.5)$$

Este conjunto de restrições mantém-se independente da semana conter dias de feriados ou não. Contudo, nas semanas que existe feriado, a restrição correspondente ao dia de feriado fica inativa. Por exemplo, se na semana em análise existir um feriado à segunda, a restrição 12.1 fica inativa, pois é feriado nesse dia da semana, e assim sucessivamente.

Bloco de restrições (13):

As restrições (13.1.1) garantem que cada bombeiro $i \in B^1$ (apenas os bombeiros fixos) têm de realizar um horário por semana da escala geral. Porém, a restrição (13.2.1) garante que cada bombeiro $i \in B^2 \cup B^3 \cup B^4$ (todos, exceto os fixos e os voluntários) realizam um horário por semana da escala geral e da escala de diálise. Quando há um dia de feriado na semana, a regra aplica-se nos horários de feriado da escala geral e da escala de diálise. A restrição (13.2.2) garante que cada bombeiro $i \in B^2 \cup B^3 \cup B^4$ (todos, exceto os fixos e os voluntários) realizam um horário por semana, incluindo os horários respetivos ao feriado, da escala geral e da escala de diálise. Já o conjunto das restrições (13) garantem que os bombeiros motoristas realizam apenas um horário da sua especialidade por dia da semana e estas mantêm-se independente da semana conter dias de feriados ou não. Contudo, nas semanas

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

que existe feriado, a restrição correspondente ao dia de feriado fica inativa. Por exemplo, se na semana em análise existir um feriado à segunda, a restrição 13.3.1 fica inativa, pois é feriado nesse dia da semana, e assim sucessivamente.

- Se for uma semana regular (sem feriados)

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1.1)$$

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2.1)$$

- Se for uma semana com feriado à segunda-feira

$$x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1.2)$$

$$x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 + \sum_{j=81}^{85} x_{i,j}^7 = 1, \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2.2)$$

- Se for uma semana com feriado à terça-feira

$$x_{i,12}^1 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1.3)$$

$$x_{i,12}^1 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 + \sum_{j=88}^{92} x_{i,j}^8 = 1, \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2.3)$$

- Se for uma semana com feriado à quarta-feira

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1.4)$$

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,48}^4 + x_{i,60}^5 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 + \sum_{j=95}^{99} x_{i,j}^8 = 1, \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2.4)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,60}^5 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1.5)$$

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,60}^5 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 + \sum_{j=102}^{106} x_{i,j}^8 = 1, \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2.5)$$

- Se for uma semana com feriado à quinta-feira

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \quad (13.1.6)$$

$$x_{i,12}^1 + x_{i,24}^2 + x_{i,36}^3 + x_{i,48}^4 + x_{i,63}^6 + x_{i,64}^6 + x_{i,65}^6 + x_{i,66}^6 + x_{i,67}^6 + x_{i,70}^6 + x_{i,71}^6 + \sum_{j=109}^{113} x_{i,j}^8 = 1, \quad \text{para } i = 4, \dots, 28 \quad (13.2.6)$$

- Restrições comuns, inativando a restrição consoante o dia de feriado na semana em análise:

$$x_{i,6}^1 + x_{i,7}^1 + x_{i,8}^1 + x_{i,9}^1 = 1, \text{ para } i=B^3 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira)} \quad (13.3.1)$$

$$x_{i,18}^2 + x_{i,19}^2 + x_{i,20}^2 + x_{i,21}^2 = 1, \text{ para } i=B^3 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira)} \quad (13.3.2)$$

$$x_{i,30}^3 + x_{i,31}^3 + x_{i,32}^3 + x_{i,33}^3 = 1, \text{ para } i=B^3 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira)} \quad (13.3.3)$$

$$x_{i,42}^4 + x_{i,43}^4 + x_{i,44}^4 + x_{i,45}^4 = 1, \text{ para } i=B^3 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira)} \quad (13.3.4)$$

$$x_{i,54}^5 + x_{i,55}^5 + x_{i,56}^5 + x_{i,57}^5 = 1, \text{ para } i=B^3 \text{ (eliminar se feriado à sexta-feira)} \quad (13.3.5)$$

Bloco de restrições (14):

As restrições (14.1) e (14.2) garantem a manutenção do mesmo horário semanal para os bombeiros de EIPs. Assim, a equipa que realizar o horário 10, das 6:00 às 14:00 de segunda-feira, realizará também o mesmo horário no resto da semana (até sexta-feira), ou seja, a equipa que realizar o horário 10, realizará também os horários 22, 34, 46 e 58. Não há necessidade de definir a restrição para o horário das 13:00 às 21:00 porque será assegurado pela equipa alternativa. Estas restrições são definidas apenas para o primeiro bombeiro de cada equipa (bombeiros 19 e 24). Atendendo também às restrições (12.1) e (12.2), se $x_{19,10}^1 = 1$, então toda a equipa do bombeiro 19 realizará os horários (horários

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

das 6:00 às 14:00) e por força da igualdade (14.2), o bombeiro 24 (da outra equipa) realizará o outro horário de EIPs (horário das 13:00 às 21:00).

$$x_{i,10}^1 = x_{i,22}^2, \text{ para } i=19, 24 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira e terça-feira)} \quad (14.1.1)$$

$$x_{i,22}^2 = x_{i,34}^3, \text{ para } i=19, 24 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira e quarta-feira)} \quad (14.1.2)$$

$$x_{i,34}^3 = x_{i,46}^4, \text{ para } i=19, 24 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira e quinta-feira)} \quad (14.1.3)$$

$$x_{i,46}^4 = x_{i,58}^5, \text{ para } i=19, 24 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira e sexta-feira)} \quad (14.1.4)$$

$$x_{19,10}^1 + x_{24,10}^1 = 1 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira)} \quad (14.2.1)$$

$$x_{19,22}^2 + x_{24,22}^2 = 1 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira)} \quad (14.2.2)$$

$$x_{19,34}^3 + x_{24,34}^3 = 1 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira)} \quad (14.2.3)$$

$$x_{19,46}^4 + x_{24,46}^4 = 1 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira)} \quad (14.2.4)$$

$$x_{19,58}^5 + x_{24,58}^5 = 1 \text{ (eliminar se feriado à sexta-feira)} \quad (14.2.5)$$

Estas mantêm-se independente da semana conter dias de feriados ou não. Contudo, nas semanas que existe feriado, a restrição correspondente ao dia de feriado fica inativa. Por exemplo, se na semana em análise existir um feriado à segunda, a restrição 14.1.1 e 14.2.1 ficam inativa, pois é feriado nesse dia da semana e essa restrição contém pelo menos uma variável que corresponde à segunda-feira regular. Se na semana em análise existir um feriado à terça-feira, as restrições 14.1.1, 14.1.2 e 14.2.2 ficam inativas, pois é feriado nesse dia da semana e essa restrição contém pelo menos uma variável que corresponde à terça-feira regular e assim sucessivamente.

Bloco de restrições (15):

As restrições (15.1) a (15.3) previnem a atribuição de horário na manhã de segunda-feira caso o bombeiro tenha realizado um horário noturna na véspera (domingo da semana anterior). Esse horário matinal de segunda-feira corresponde ao horário 3 no caso dos bombeiros de telecomunicações (conjunto B²); corresponder a qualquer dos horários 6 ou 7 no caso dos bombeiros motoristas (conjunto B³) e corresponde ao horário 10 no caso

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

dos primeiros bombeiros de EIPs (conjunto B^4). O parâmetro h_i é um dado do problema, tomando o valor 1 se o bombeiro i tiver realizado um horário noturno no domingo da semana anterior. Se assim for, as restrições forçam as variáveis no membro da esquerda a tomar valor zero, impedindo a afetação aos respetivos horários matinais de segunda-feira.

$$x_{i,3}^1 \leq 1 - h_i \quad , \quad \text{para } i \in B^2 \quad (15.1)$$

$$x_{i,6}^1 + x_{i,7}^1 \leq 1 - h_i \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \quad (15.2)$$

$$x_{i,10}^1 \leq 1 - h_i \quad , \quad \text{para } i \in B^4 \quad (15.3)$$

Este bloco de restrições mantém-se sempre ativo, exceto quando a semana em análise contém um feriado à segunda-feira.

Bloco de restrições (16):

As restrições (16.1) a (16.4) asseguram que os bombeiros motoristas não executam o horário da manhã da sua especialidade caso estes tenham realizado o horário noturna na véspera.

$$x_{i,9}^1 + x_{i,18}^2 \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \text{ (eliminar se feriado à segunda-feira ou terça-feira)} \quad (16.1)$$

$$x_{i,21}^2 + x_{i,30}^3 \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \text{ (eliminar se feriado à terça-feira ou quarta-feira)} \quad (16.2)$$

$$x_{i,33}^3 + x_{i,42}^4 \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \text{ (eliminar se feriado à quarta-feira ou quinta-feira)} \quad (16.3)$$

$$x_{i,45}^4 + x_{i,54}^5 \leq 1 \quad , \quad \text{para } i \in B^3 \text{ (eliminar se feriado à quinta-feira ou sexta-feira)} \quad (16.4)$$

Bloco de restrições (17):

Por fim, restam apenas as condições de integralidade que asseguram que todas as variáveis do modelo são binárias, o que é fundamental para garantir algumas das condições anteriormente definidas. Estas condições são definidas em (17).

$$x_{i,j}^k \in \{0,1\} \quad , \quad \text{para todo } (i,j) \in D^k \quad (17)$$

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

A Tabela 4.3 descreve o conjunto de expressões que caracterizam cada formulação específica: semana regular, semana com feriado à segunda-feira, até à semana com feriado à sexta-feira.

Tabela 4.3 Resumo da Formulação com feriados

Semana	Função Objetivo	Restrições
Regular (sem feriados)	(1.1)	(2.1), (3.1.1) a (3.1.6), (4.1.1) a (4.1.6), (5.1.1), (5.1.2), (6.1) a (6.5), (7.1) a (7.7), (8.1), (9.1) a (9.3), (10), (11.1) a (11.8), (12.1) a (12.5), (13.1.1), (13.2.1), (13.3.1) a (13.3.5), (14.1.1) a (14.1.4), (14.2.1) a (14.2.5), (15.1) a (15.3), (16.1) a (16.4), (17)
Com feriado à segunda-feira	(1.2)	(2.2), (3.2.1) a (3.2.6), (4.2.1) a (4.2.6), (5.2.1), (5.2.2), (6.2) a (6.5), (7.2) a (7.7), (8.2), (9.1) a (9.3), (10), (11.2) a (11.8), (12.2) a (12.5), (13.1.2), (13.2.2), (13.3.2) a (13.3.5), (14.1.2) a (14.1.4), (14.2.2) a (14.2.5), (16.2) a (16.4), (17)
Com feriado à terça-feira	(1.3)	(2.3), (3.3.1) a (3.3.6), (4.3.1) a (4.3.6), (5.3.1), (5.3.2), (6.1), (6.3) a (6.5), (7.1), (7.3) a (7.7), (8.3), (9.1) a (9.3), (10), (11.1), (11.3) a (11.8), (12.1), (12.2) a (12.5), (13.1.3), (13.2.3), (13.3.1), (13.3.3) a (13.3.5), (14.1.3), (14.1.4), (14.2.1), (14.2.3) a (14.2.5), (15.1) a (15.3), (16.3), (16.4), (17)
Com feriado à quarta-feira	(1.4)	(2.4), (3.4.1) a (3.4.6), (4.1.1), (4.1.2), (4.1.5), (4.1.6), (5.4.1), (5.4.2), (6.1), (6.2), (6.4), (6.5), (7.1), (7.2), (7.4) a (7.7), (8.3), (9.1) a (9.3), (10), (11.1), (11.2), (11.4) a (11.8), (12.1), (12.2), (12.4), (12.5), (13.1.4), (13.2.4), (13.3.1), (13.1.2), (13.1.4), (13.3.5), (14.1.1), (14.1.4), (14.2.1), (14.2.2), (14.2.4), (14.2.5), (15.1) a (15.3), (16.1), (16.4), (17)

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Tabela 4.3 Resumo da Formulação com feriados (continuação)

Semana	Função Objetivo	Restrições
Com feriado à quinta-feira	(1.5)	(2.5), (3.5.1) a (3.5.6), (4.5.1) a (4.5.6), (5.5.1), (5.5.2), (6.1) a (6.3), (6.5), (7.1) a (7.3), (7.5) a (7.7), (8.4), (9.1) a (9.3), (10), (11.1) a (11.3), (11.5) a (11.8), (12.1) a (12.3), (12.5), (13.1.5), (13.2.5), (13.3.1) a (13.3.3), (13.3.5), (14.1.1) a (14.1.2), (14.2.1) a (14.2.3), (14.2.5), (15.1) a (15.3), (16.1), (16.2), (17)
Com feriado à sexta-feira	(1.6)	(2.6), (3.6.1) a (3.6.6), (4.6.1) a (4.6.6), (5.6.1), (5.6.2), (6.1) a (6.4), (7.1) a (7.4), (7.6), (7.7), (8.5), (9.1) a (9.3), (10), (11.1) a (11.4), (11.6), (11.7), (12.1) a (12.4), (13.1.6), (13.2.6), (13.3.1) a (13.3.4), (14.1.1) a (14.1.3), (14.2.1) a (14.2.4), (15.1) a (15.3), (16.1) a (16.3), (17)

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

4.4 Solvers matemáticos utilizados na resolução das formulações

Para resolver as formulações matemáticas descritas anteriormente, está disponível um conjunto de *Solvers* que podem ser utilizados para essa finalidade. No caso particular do presente trabalho, optámos por utilizar o *OpenSolver* e o *SolverStudio* (Mason, 2012, 2013). Ambos permitem construir e resolver modelos de otimização integrados num ambiente Excel.

Numa primeira fase, para resolver o problema de escalonamento de pessoal foi utilizado o *OpenSolver* (versão de 15-01-2021). Começou-se por construir toda a formulação base, descrita no subcapítulo 4.1, tendo-se adicionado a função objetivo e todas as restrições no *OpenSolver*.

O *OpenSolver* é integrado no Excel e necessita de ser instalado previamente. Segundo Mason (2012), o *OpenSolver* consiste num “suplemento de código aberto para resolver problemas de programação linear e linear inteira”.

Numa segunda fase, foi utilizado *SolverStudio* (versão de 13-08-2015 com a última atualização em 20-05-2016). Utilizou-se o *SolverStudio* pelo facto de integrar funcionalidades de programação, nomeadamente *Python*, permitindo auxiliar na construção de formulações de grande dimensão. De facto, a formulação que inclui feriados é bastante maior do que a formulação base, obrigando também a alternância de restrições e função objetivo decorrentes da existência de um dia de feriado na semana.

O *SolverStudio*, tal como o *OpenSolver*, é integrado no Excel e necessita de ser instalado previamente. Ambos, recorrem ao *Solver CBC* disponibilizado gratuitamente pela COIN-OR (<https://www.coin-or.org/>). De acordo com Mason (2013), o *SolverStudio* consiste numa ferramenta que utiliza diversas linguagens e ambientes de programação baseados em *Python*. Nesta ferramenta é possível editar diretamente no Excel, nomeadamente no *Show Model*, além de disponibilizar um espaço onde é possível definir, nomear e renomear as tabelas, listas ou matrizes do modelo em estudo, nomeadamente localizar os dados de *input* e as células que irão receber a informação de *output*. Qualquer alteração feita neste espaço é automaticamente gravada e uniformizada. Após a criação

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

do modelo, este poderá ser executado através do *Solve Model*. A Figura 4.1 mostra o processo de introdução e resolução do modelo através do *SolverStudio*.

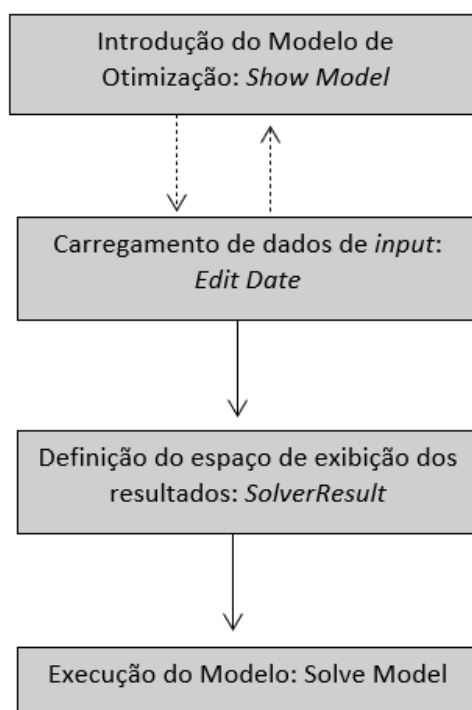


Figura 4.1 Processo de introdução e resolução do Modelo de Otimização no SolverStudio

Inicialmente, o *SolverStudio* foi criado para suportar a biblioteca *PuLP* do *Python*, onde os dados são criados como listas e dicionários. Atualmente, já é possível encontrar outros ambientes computacionais para edição das formulações e utilização de outros *solvers* no *SolverStudio*. Consoante a área de estudo e os conhecimentos do utilizador, o mesmo poderá optar pela linguagem mais adequada ao seu projeto.

No presente projeto, utilizou-se a biblioteca *PuLP* (COIN|OR, 2022) para editar a formulação, recorrendo ao solver *CBC* (Forrest et al., 2022) disponibilizado pela COIN|OR (<https://www.coin-or.org/>), descrita no subcapítulo 4.2.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

4.5 Interface gráfica

Os procedimentos de interação com o utilizador foram também incluídos no ambiente Excel onde se desenvolveu a BVT Schedule App. Com estes procedimentos, pretende-se recolher as preferências dos colaboradores de forma simples e eficaz, para que, de forma automática, sejam inseridas nos dados da formulação da BVT Schedule App. As interações que utilizam interfaces representam um aspeto importante, sendo fundamental perceber a diferença entre UX (*User Experience*) e UI (*User Interface*).

O UX (*User Experience*) são todas as interações que ocorrem entre a aplicação e o utilizador (Sharma, 2021). Neste caso, o UX consiste em todas as interações, passo a passo, do utilizador com a identificação das preferências pelos turnos. Por outro lado, UI são todas as interfaces criadas para ajudar a interação do utilizador com a aplicação, como por exemplo, a criação de elementos de design visual.

Tento em conta o UX/UI e o número de especialidades de trabalho na empresa em estudo, houve a necessidade de criar diferentes painéis de visualização dentro da BVT Schedule App. Neste sentido, existe um painel/formulário de preenchimento para os bombeiros voluntários e fixos, outro para os bombeiros do serviço central de telecomunicações, outro para os bombeiros do serviço central de motoristas e outro para os bombeiros do serviço de equipa de intervenção permanente (EIP). Na Figura 4.2, observa-se o painel para um destes tipos de funções.

Nome Rodrigo Costa

Escala Geral (Voluntariado e Diálise*)

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
20h-8h	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
8h-20h						☐	☐
6h30*						☐	
7h00*						☐	
16h00*						☐	

Escala Telecomunicações

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado/Domingo
20h-08h	☐	☐	☐	☐	☐	☐
8h-20h						☐

De 1 a 7 para a semana (onde 1 = não prefer nada e 7 = prefer bastante). Colocar 0 (zero) quando não pode realizar o horário.

De 1 a 12 para a semana (onde 1 = não prefer nada e 12 = prefer bastante). Colocar 0 (zero) quando não pode realizar o horário.

Figura 4.2 Exemplo de Formulário para os Bombeiros do serviço de Telecomunicações Masculinos

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Após criados os formulários, procedeu-se à ativação dos botões de “Limpar” e “Submeter”, através da atribuição de macros.

```
Sub Botão_Limpar()
    'Limpar o quadro
    Dim CelulasQuadro() As String
    CelulasQuadro = Split("E6,G6,I6,K6,M6,O6,O8,O10,O12,O14,Q6,Q8,T6,V6,X6,Z6,AB6,AD6,OAD8", ",")
    For Each cel In CelulasQuadro
        ActiveSheet.Range(cel).ClearContents
    Next
End Sub
```

Figura 4.3 Botão limpar do Formulário do serviço de Telecomunicações Masculinos

O botão de submeter deve obedecer ao seguinte conjunto de regras:

- Preencher os espaços destinados às preferências, respeitando um determinado intervalo, no caso da “Escala Geral” na Figura 4.3, valores de 1 a 12, em que 1 é o horário que menos gosta e 12 o horário de que mais gosta. Para além destes valores pode ainda optar pelo valor 0, caso não possa de todo realizar o horário em questão.
- Todas as preferências têm de estar preenchidas;
- Pode colocar mais do que uma vez o valor 0;
- Não pode haver horários com o mesmo valor de preferência (exceto o valor 0).

Foi desenvolvida uma Macro em *Visual Basic for Applications* (VBA) para validar as regras de submissão, acima enumeradas e, caso estejam válidas, registar as preferências numa folha Excel.

```
Sub Botão_Submeter()
    Dim CelulasQuadro1() As String
    CelulasQuadro1 = Split("E6,G6,I6,K6,M6,O6,O8,O10,O12,O14,Q6,Q8", ",")
    For Each cell In CelulasQuadro1
        If IsEmpty(ActiveSheet.Range(cell)) Or ActiveSheet.Range(cell) < 0 Or ActiveSheet.Range(cell) > 12 Then
            MsgBox ("Valor vazio ou fora do intervalo na célula " + cell)
            Exit Sub
        End If
    Next
    Dim CelulasQuadro2() As String
    CelulasQuadro2 = Split("T6,V6,X6,Z6,AB6,AD6,AD8", ",")
    For Each cel2 In CelulasQuadro2
        If IsEmpty(ActiveSheet.Range(cel2)) Or ActiveSheet.Range(cel2) < 0 Or ActiveSheet.Range(cel2) > 7 Then
            MsgBox ("Valor vazio ou fora do intervalo na célula " + cel2)
            Exit Sub
        End If
    Next
End Sub
```

Figura 4.4 Botão submeter: 1º Código

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

De seguida, e após completada a 1ª expressão do Botão Submeter, foi desenvolvido um código para fazer face aos restantes pontos acima descritos.

```
Dim ValorInseridos(12) As Integer
Dim Posicao As Integer
Posicao = 0

For Each cell In CelulasQuadrol
    If ActiveSheet.Range(cell) <> 0 Then

        For i = 0 To 12
            If ActiveSheet.Range(cell) = ValorInseridos(i) Then
                MsgBox ("Valor repetido na célula " + cell)
                Exit Sub
            End If
        Next i

        ValorInseridos(Posicao) = ActiveSheet.Range(cell)
        Posicao = Posicao + 1
    End If
Next

Dim ValorInseridos2(7) As Integer
Dim Posicao2 As Integer
Posicao2 = 0

For Each cel2 In CelulasQuadro2
    If ActiveSheet.Range(cel2) <> 0 Then

        For i = 0 To 7
            If ActiveSheet.Range(cel2) = ValorInseridos2(i) Then
                MsgBox ("Valor repetido na célula " + cel2)
                Exit Sub
            End If
        Next i

        ValorInseridos2(Posicao2) = ActiveSheet.Range(cel2)
        Posicao2 = Posicao2 + 1
    End If
Next
```

Figura 4.5 Botão Submeter: 2º Código

Procedeu-se, de seguida, ao desenvolvimento de um 3º código para permitir submeter/reinscrever os dados do formulário num “Registo”.

```
'Quadros
Dim Linha As Integer
Dim Coluna As Integer

Linha = Worksheets("Registo_").Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row + 1
Coluna = 0

'E6,G6,I6,K6,M6,O6,Q6,O8,O10,O12,O14,Q6,Q8,T6,V6,X6,Z6,AB6,AD6,AD8
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 1) = ActiveSheet.Range("G2")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 2) = ActiveSheet.Range("E6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 3) = ActiveSheet.Range("G6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 4) = ActiveSheet.Range("I6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 5) = ActiveSheet.Range("K6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 6) = ActiveSheet.Range("M6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 7) = ActiveSheet.Range("O6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 8) = ActiveSheet.Range("O8")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 9) = ActiveSheet.Range("O10")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 10) = ActiveSheet.Range("O12")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 11) = ActiveSheet.Range("O14")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 12) = ActiveSheet.Range("Q6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 13) = ActiveSheet.Range("Q8")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 14) = ActiveSheet.Range("T6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 15) = ActiveSheet.Range("V6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 16) = ActiveSheet.Range("X6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 17) = ActiveSheet.Range("Z6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 18) = ActiveSheet.Range("AB6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 19) = ActiveSheet.Range("AD6")
Worksheets("Registo_").Cells(Linha, Coluna + 20) = ActiveSheet.Range("AD8")
MsgBox ("Foi submetido com sucesso!")
```

Figura 4.6 Botão Submeter: 3º Código

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Por fim, este conjunto de dados foi transportado para a formulação de forma automática e por isso desenvolveu-se o seguinte código, apresentado na Figura 4.7.

```
Sub Botão_preencherdados()
    Dim i As Long
    Dim j As Long
    Dim linha As Long
    Dim coluna As Long
    Dim idUtilizador As Long
    Dim idHorario As Long

    i = 3
    Do While Not IsEmpty(Sheets("registo_").Range("A" & i))
        'Your code here

        idUtilizador = Sheets("registo_").Range("A" & i)
        linhaDados = 12 + idUtilizador

        j = 2
        Do While Not IsEmpty(Sheets("registo_").Cells(1, j))
            idHorario = Sheets("registo_").Cells(1, j)
            colunaDados = 10 + idHorario
            MsgBox (linhaDados)
            MsgBox (colunaDados)
            MsgBox (Sheets("pré_registo").Cells(i, j))
            Sheets("Dados").Cells(linhaDados, colunaDados) = Sheets("registo_").Cells(i, j)
            j = j + 1
        Loop

        'Sheets("Dados").Cells(linha, coluna) = Sheets("registo_").Cells(i, 2)

        i = i + 1
    Loop
End Sub
```

Figura 4.7 Botão de Preenchimento: 4º Código

De uma forma resumida, estes botões permitem recolher as preferências dos colaboradores pelos turnos e registar essas mesmas preferências automaticamente nos dados da formulação, para os quais foram desenvolvidas as macros anteriormente descritas e que possibilitam a adequada realização desses procedimentos.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

5 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DA BVT SCHEDULE APP

Neste capítulo é descrita a estrutura da BVT Schedule App e avaliada a sua eficácia e eficiência na resolução do problema.

A BVT Schedule App está dividida em quatro componentes, sendo elas:

1. Recolha de preferências;
2. Dados do problema;
3. Formulação;
4. Visualização.

A recolha de preferências é constituída por um conjunto de formulários que servirão de auxílio na recolha das preferências pelos turnos de cada bombeiro. Cada bombeiro terá acesso ao seu formulário, que deverá preencher de acordo com as regras definidas pela corporação. Após o preenchimento, e ainda nesta etapa, a informação é registada na folha de Excel referente aos dados da formulação.

Os pontos 2 a 4 são de acesso restrito ao responsável do escalonamento de pessoal. O ponto 2 envolve o armazenamento dos dados que caracterizam cada instância do problema (*inputs*) e que irão atribuir valores aos parâmetros da formulação matemática, descrita no ponto 3.

A Figura 5.1 mostra um extrato da folha de cálculo que contém os parâmetros necessários para a construção e parametrização da formulação linear inteira, que integram os pontos 2 e 3. Para esse efeito, utilizou-se a biblioteca PuLP (COIN|OR, 2022) para editar a formulação, recorrendo ao solver CBC (Forrest et al., 2022) disponibilizado pela COIN|OR (<https://www.coin-or.org/>). O botão existente na folha de cálculo, designado por “Preencher Dados”, invoca uma Macro desenvolvida em VBA que preenche esta folha de cálculo com as preferências dos bombeiros, registadas como se descreveu anteriormente.

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira													
0	0	0	0	0	Preencher Dados												

Matriz de Preferências

Se (ao serviço)=1; senão (=0)				min_bomb																
Estive ao serviço no fds ant 2	Estive ao serviço no fds ant 1	Pode folgar (=0) ou não (=1)	Domingo ante	max_hor		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
							9h-18h fixo seg	8h-17h fixo seg	8h-17h tel seg	12h-20h tel seg	20h-08h tel seg	6h30-15h30 mot s	8h-17h mot seg	12h-20h mot seg	15h-24h mot seg	6h-14h EPI seg	13h-21h EPI seg	20h-8h geral seg	Folga - 4 - Seg	
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
							1 Teresa Dias	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
							2 Fico 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
							3 Fico 3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
							4 Marco Tel	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	1
							5 Goncalo Tel	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
							6 Fabio Tel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 5.1 Extrato da folha de Excel com os parâmetros para a formulação e matriz de preferências

O botão “Preencher Dados”, transfere automaticamente os dados submetidos para a “Matriz de Preferências”, estando esta alojada na folha de *Excel* onde se encontram os dados do problema. Esta matriz é constituída por 55 linhas, correspondendo à lista dos bombeiros efetivos (divididos por especialidade) e voluntários da associação, e 113 colunas, que correspondem aos turnos disponibilizados. Na parte superior da matriz de preferências, está definido o número mínimo de bombeiros necessários em cada turno e na lateral esquerda da mesma, está definido o número máximo de turnos que cada bombeiro pode realizar. Ainda na parte lateral esquerda da matriz de preferências, são exibidos mais dois parâmetros importantes para esta associação, sendo que a coluna denominada “Domingo ante” refere-se a dados históricos do domingo anterior à semana em causa, ou seja, especifica quem esteve ao serviço na noite do domingo anterior à semana em análise. Por outro lado, o bloco mais à esquerda, refere-se ao serviço prestado pelos bombeiros de telecomunicações do sexo masculino, realizado nos dois fim de semanas anteriores. Estes bombeiros estarão dispensados de realizar trabalho no fim de semana na semana em análise, caso tenham estado ao serviço nos dois fins de semana anteriores. No topo superior esquerdo da folha, existe um quadro que permite à associação

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

especificar se a semana em causa contém um dia feriado em algum dia útil ao longo da semana em análise. Esta funcionalidade é relevante para a associação, pois os turnos a exercer nesses dias são diferentes dos turnos em dias úteis, e exigem outras restrições.

Quando a BVT Schedule App foi colocada em produção na associação, verificou-se que a estrutura dos bombeiros tinha sofrido algumas alterações, nomeadamente nos turnos do serviço de telecomunicações. Este serviço deixou de ter turnos com horas sobrepostas e restrições para o sexo feminino e para o sexo masculino. Apesar deste constrangimento, a BVT Schedule App foi posta em produção tendo em conta os pré-requisitos recolhido inicialmente. Note-se que as alterações entretanto realizadas na associação poderão ter sido motivadas pela dificuldade de conjugar todas as condições que definiam a versão original do problema, a qual é tratada no presente projeto. Tendo em conta estas circunstâncias, optou-se por manter todos os requisitos originalmente definidos. É nesse contexto que se dá continuidade, nos subcapítulos 5.1, e 5.2, à avaliação da eficiência da BVT Schedule App.

5.1 Caso normal

Neste subcapítulo é demonstrada a aplicabilidade da BVT Schedule App para um cenário normal. Considera-se que estamos perante um cenário normal quando a semana em análise é regular (semana sem feriados) e não contém impedimentos por parte dos bombeiros.

Considerando o perfil de preferências previamente definido, e considerando que estávamos perante um padrão normal, foi obtida a solução ótima. Para a construção da solução foi considerado que os 55 bombeiros estavam disponíveis para fazer face ao serviço da corporação, ou seja, não há qualquer impedimento por parte dos bombeiros ($a_{ij} = 1$). A solução ótima é apresentada nas Figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6. Relativamente à disposição da tabela da solução (escalas de serviço), o mesmo foi pensado e desenhado para refletir as escalas de trabalho independentemente do cenário em que nos encontramos (normal ou contingente). Por isso, as soluções (escalas de serviço) representadas nas Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam horários por preencher.

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

Nestas escalas, os espaços sombreados a amarelo significam que não existe um determinado horário num determinado dia da semana. Por outro lado, os espaços sombreados a vermelho significam que esse horário só existirá se a semana contiver o feriado num determinado dia da semana.

Posto isto, a solução ótima é de seguida apresentada.

	Tipo de Escala				
	Motoristas				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6h30-15h30	Vitor Carvalho Mot Nuno Ramos Mot	Tiago Marques Mot Rodrigo Costa Mot	Pedro Marques Mot Jose Brito Mot	Pedro Marques Mot Nuno Ramos Mot	Tiago Snatos Mot Tiago Marques Mot
8h-17h	Pedro Cruz Mot Tiago Snatos Mot Tiago Marques Mot	Pedro Cruz Mot Pedro Marques Mot Renato Dias Mot	Tiago Snatos Mot Tiago Marques Mot Diogo Marques Mot	Pedro Cruz Mot Tiago Marques Mot Diogo Marques Mot	Pedro Cruz Mot Renato Dias Mot Nuno Ramos Mot
12h-20h	Jose Brito Mot Renato Dias Mot Rodrigo Costa Mot	Tiago Snatos Mot Jose Brito Mot Vitor Carvalho Mot	Pedro Cruz Mot Vitor Carvalho Mot Nuno Ramos Mot	Tiago Snatos Mot Jose Brito Mot Renato Dias Mot	Pedro Marques Mot Vitor Carvalho Mot Rodrigo Costa Mot
15h-24h	Pedro Marques Mot Diogo Marques Mot	Nuno Ramos Mot Diogo Marques Mot	Renato Dias Mot Rodrigo Costa Mot	Vitor Carvalho Mot Rodrigo Costa Mot	Jose Brito Mot Diogo Marques Mot

Figura 5.2 Escala de motoristas obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos

	Tipo de Escala				
	EIP				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
6h-14h	João Correia EPI Jose Carlos EPI Nuno Trindade EPI Luis Lorencio EPI Paulo Duarte EPI	João Correia EPI Jose Carlos EPI Nuno Trindade EPI Luis Lorencio EPI Paulo Duarte EPI	João Correia EPI Jose Carlos EPI Nuno Trindade EPI Luis Lorencio EPI Paulo Duarte EPI	João Correia EPI Jose Carlos EPI Nuno Trindade EPI Luis Lorencio EPI Paulo Duarte EPI	João Correia EPI Jose Carlos EPI Nuno Trindade EPI Luis Lorencio EPI Paulo Duarte EPI
13h-21h	Ricardo Martins EPI Pedro EPI Sonia Santos EPI Rodrigo Sousa EPI Hugo Pereira EPI	Ricardo Martins EPI Pedro EPI Sonia Santos EPI Rodrigo Sousa EPI Hugo Pereira EPI	Ricardo Martins EPI Pedro EPI Sonia Santos EPI Rodrigo Sousa EPI Hugo Pereira EPI	Ricardo Martins EPI Pedro EPI Sonia Santos EPI Rodrigo Sousa EPI Hugo Pereira EPI	Ricardo Martins EPI Pedro EPI Sonia Santos EPI Rodrigo Sousa EPI Hugo Pereira EPI

Figura 5.3 Escala de EIP obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua



	Tipo de Escala						
	Telecomunicações						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo
8h-17h	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel		
12h-20h	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel		
20h-8h	Marco Tel Goncalo Tel	Fabio Tel	Goncalo Tel	Fabio Tel	Goncalo Tel Fabio Tel	Goncalo Tel	Goncalo Tel
20h-8h (Feriado)							
8h-20h						Marco Tel	Marco Tel
8h-20h (Feriado)							

Horário de Feriado
Não há horário nesse espaço

Figura 5.4 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos



	Tipo de Escala						
	Geral (Díalíse)						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo
8h-20h						Pedro Cruz Mot Vitor Carvalho Mot Voluntario 4 Voluntario 8 Voluntario 10 Voluntario 11 Voluntario 13 Voluntario 16 Voluntario 19 Voluntario 21 Voluntario 24 Voluntario 25	Tiago Marques Mot Voluntario 7 Voluntario 9 Voluntario 10 Voluntario 25 Voluntario 26
8h-20h (Feriado)							
20h-8h	Teresa Dias Voluntario 2 Voluntario 3 Voluntario 7 Voluntario 21 Voluntario 22	Paulo Duarte EPI Ricardo Martins EPI Voluntario 2 Voluntario 4 Voluntario 5 Voluntario 6 Voluntario 8 Voluntario 9 Voluntario 15 Voluntario 16 Voluntario 17 Voluntario 18 Voluntario 19 Voluntario 20 Voluntario 24 Voluntario 27	Marco Tel Fabio Tel Daniela Tel Jose Brito Mot Diogo Marques Mot Voluntario 1 Voluntario 7 Voluntario 9 Voluntario 12 Voluntario 13 Voluntario 14 Voluntario 21 Voluntario 23	Goncalo Tel Pedro EPI Rodrigo Sousa EPI Voluntario 3 Voluntario 5 Voluntario 6 Voluntario 11 Voluntario 12 Voluntario 14 Voluntario 15 Voluntario 17 Voluntario 18 Voluntario 19	Renato Dias Mot Rodrigo Costa Mot João Correia EPI Jose Carlos EPI Luis Lorenzo EPI Voluntario 1 Voluntario 2 Voluntario 3 Voluntario 4 Voluntario 10 Voluntario 20 Voluntario 22 Voluntario 23 Voluntario 27	Fixo 2 Andreia Tel Voluntario 8 Voluntario 13 Voluntario 14 Voluntario 15 Voluntario 16 Voluntario 18 Voluntario 20 Voluntario 22 Voluntario 23 Voluntario 25 Voluntario 27	Fixo 3 Sonia Santos EPI Voluntario 1 Voluntario 5 Voluntario 6 Voluntario 11 Voluntario 12 Voluntario 24 Voluntario 26

Horário de Feriado
Não há horário nesse espaço

Figura 5.5 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua



	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo
6h30*						Pedro Marques Mot	
7h00*						Tiago Snatos Mot Nuno Ramos Mot Hugo Pereira EPI	
18h00*						Nuno Trindade EPI	

Legenda:
Tipo de Escala: Geral (Diálise)
Horário de Feriado: Não há horário nesse espaço

Figura 5.6 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e sem impedimentos

Comparando as escalas obtidas com as escalas contruídas manualmente (escalas construídas no passado, antes da alteração na estrutura promovida recentemente), verifica-se que estas têm semelhanças. Observa-se que, na escala de Telecomunicações (Figura 5.4), na escala Geral (Figura 5.5) e na escala Geral de Diálise (Figura 5.6), apesar de a formulação contemplar um número mínimo necessário de bombeiros nos turnos, a solução afeta mais bombeiros aos turnos de trabalho, indo além do número mínimo necessário, sempre que exista esse excesso de disponibilidade.

Por outro lado, na escala de motoristas (Figura 5.2) e na escala de EIP (Figura 5.3) não se verifica esta afetação complementar, pois o número de bombeiros é igual ao número mínimo de bombeiros necessários para o serviço. Adicionalmente, se considerarmos a escala de motoristas (Figura 5.2) e se alargarmos o escalonamento para uma sequência de quatro semanas consecutivas, procurando simular a escala de um mês, a solução obtida pela BVT Schedule App não contém a rotatividade que se observa nas soluções elaboradas pela corporação. Isto significa que, anteriormente, nas escalas feitas à mão, o bombeiro José Brito, numa semana, fazia um determinado horário (como acontece na escala obtida através da BVT Schedule App), mas na semana seguinte fazia o horário imediatamente seguinte. Por exemplo, se ele fizesse, numa semana, o horário das 6h30, na semana seguinte iria fazer o horário das 8h e na semana que se seguiria faria o horário das 12h e assim sucessivamente. Esta rotatividade era observada nas escalas de todos os bombeiros, não atendendo às preferências dos mesmos. Com a BVT Schedule App, esta

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

rotatividade deixa de existir e as escalas são construídas tendo em conta as preferências dos bombeiros, sempre com o objetivo de maximizar a satisfação dos mesmos.

Numa outra perspetiva, é na escala geral (Figura 5.7) onde a Associação dos Bombeiros apresenta maior dificuldade em afetar os bombeiros efetivos (que têm a eles subjacentes as suas especialidades dentro da associação) em simultâneo com os bombeiros voluntários. Por essa razão, nesta escala é possível visualizar o impacto positivo da aplicabilidade da BVT Schedule App. A Figura 5.7 mostra-nos o número total de bombeiros afetados à escala geral distinguindo bombeiros efetivos e bombeiros voluntários. Verifica-se que o número de bombeiros voluntários ao serviço é muito superior ao número de bombeiros efetivos, pois neste cenário consideramos que todos os bombeiros estavam disponíveis para realizar o serviço. Contudo, em casos de contingência, espera-se que estes números se aproximem, comprovando a complexidade e a dificuldade de afetar os bombeiros a esta mesma escala.

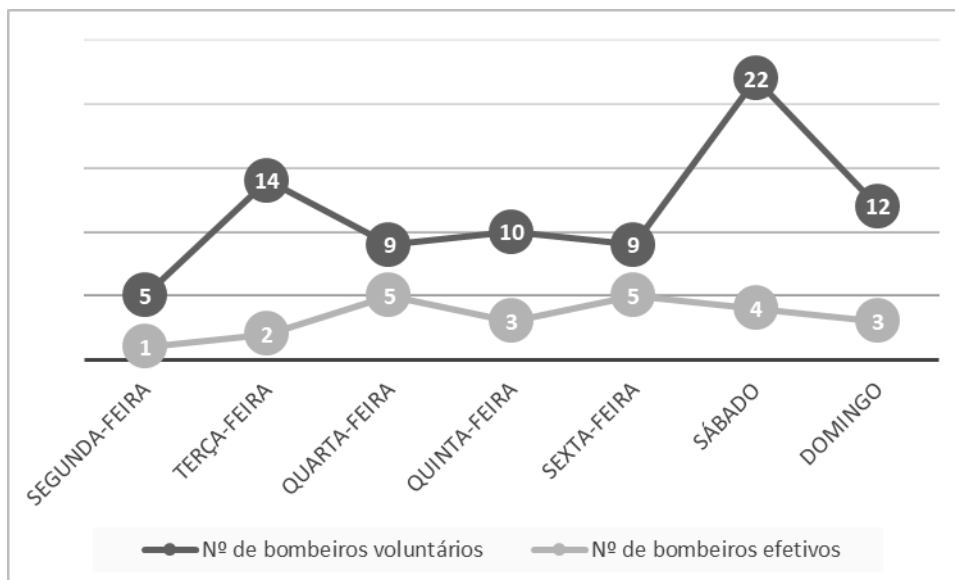


Figura 5.7 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso normal)

De uma forma geral, e apesar das soluções não apresentarem alterações significativas relativamente aos planos de escalonamento habituais, verifica-se que através da BVT Schedule App as escalas demoram poucos minutos a serem desenvolvidas, enquanto construindo manualmente demorou aproximadamente uma semana. Para além de que,

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

com a BVT Schedule App, as escalas são menos suscetíveis a erros e garantem a maximização da satisfação global da equipa.

5.2 Casos de contingência

Os casos de contingência englobam os cenários que não seguem o padrão normal. Um dos casos de contingência mais comum surge devido aos bombeiros estarem impedidos de realizar os horários do serviço, devido a férias, folgas e/ou doença. Outro caso, e menos comum, é a existência de feriado ao longo da semana. Pode-se, igualmente, considerar como um caso de contingência quando existe um aumento significativo do volume de trabalho. Este aumento pode existir na época de verão, onde é mais propício existir incêndios ou então na época baixa onde o serviço de motoristas tem de ser reforçado para fazer face à procura de transporte, por parte dos utentes, para o hospital.

5.2.1 Caso de uma semana regular com impedimentos

A BVT Schedule App foi colocada em produção considerando os mesmos parâmetros definidos na análise anterior (análise realizada no subcapítulo 5.1), com exceção dos impedimentos. Deste modo, para o mesmo perfil de preferências da análise anterior e para um determinado perfil de impedimentos previamente recolhidos, considerando que estávamos perante uma semana regular (semana sem feriados), foi alcançada uma solução para este problema. Neste caso, foram considerados impedimentos em alguns dos 55 bombeiros que inicialmente estavam disponíveis para o serviço da corporação, nomeadamente, considerou-se que o bombeiro Gonçalo (do serviço de telecomunicações) se encontrava de férias durante toda a semana em análise, assim como o bombeiro Pedro Marques (do serviço motorista) e a bombeira Sónia Santos (do serviço de EIP). Mais de metade dos voluntários encontravam-se impedidos devido ao trabalho paralelo ao voluntariado, considerando ainda que os restantes bombeiros voluntários tinham pouca disponibilidade para os horários. Para mais, alguns bombeiros efetivos encontram-se impedidos em alguns horários do serviço geral. Considerando este novo cenário, a solução obtida para as escalas de Telecomunicações, Geral e Diálise é apresentada nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua



Tipo de Escala	Horário de Feriado						
Telecomunicações	Não há horário nesse espaço						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo
8h-17h	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel		
12h-20h	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel		
20h-8h	Marco Tel	Fabio Tel	Fabio Tel	Fabio Tel	Marco Tel	Marco Tel	Marco Tel
20h-8h (Feriado)							
8h-20h						Fabio Tel	Fabio Tel
8h-20h (Feriado)							

Figura 5.8 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com impedimentos



Tipo de Escala	Horário de Feriado						
Geral (Diálise)	Não há horário nesse espaço						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo
8h-20h						Daniela Tel Vitor Carvalho Mot Rodrigo Costa Mot Paulo Duarte EPI Voluntario 1 Voluntario 3 Voluntario 11 Voluntario 13	Andreia Tel Ricardo Martins EPI Voluntario 3 Voluntario 7 Voluntario 9 Voluntario 10
8h-20h (Feriado)							
20h-8h	Fixo 2 Fixo 3 Pedro Cruz Mot Jose Carlos EPI Voluntario 8 Voluntario 11 Voluntario 12	Voluntario 5 Voluntario 6 Voluntario 8 Voluntario 9	Marco Tel Jose Brito Mot Diogo Marques Mot Voluntario 2 Voluntario 12	Teresa Dias Pedro EPI Voluntario 2 Voluntario 3 Voluntario 4 Voluntario 5	Fabio Tel João Correia EPI Rodrigo Sousa EPI Voluntario 1 Voluntario 5 Voluntario 10	Tiago Snatos Mot Renato Dias Mot Voluntario 7 Voluntario 9 Voluntario 10 Voluntario 13	Tiago Marques Mot Voluntario 1 Voluntario 2 Voluntario 7 Voluntario 11 Voluntario 13

Figura 5.9 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com impedimentos



Tipo de Escala	Horário de Feriado						
Geral (Diálise)	Não há horário nesse espaço						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo
6h30*						Luis Lorenzo EPI	
7h00*						Nuno Ramos Mot Hugo Pereira EPI	
16h00*						Nuno Trindade EPI	

Figura 5.10 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com impedimentos

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Comparando as escalas (escala de Telecomunicações, escala Geral e escala Geral de Diálise) obtidas através da BVT Schedule App, com as escalas contruídas manualmente (usando dados históricos da corporação), verifica-se que apresentam algumas diferenças. Apesar de ainda se verificar algum excesso de bombeiros afetos aos turnos, além do número mínimo necessário, nomeadamente na escala Geral (Figura 5.9) e na escala Geral de Diálise (Figura 5.10), este excesso não é tão pronunciado como na solução da semana regular sem impedimentos, analisada na secção 5.1. A principal diferença é observada na Escala Geral. De facto, perante as dificuldades trazidas pelos impedimentos, enquanto a BVT Schedule App consegue responder de forma rápida, fornecendo uma solução que respeita os requisitos do serviço, a associação de bombeiros tem muita dificuldade em construir esta mesma escala. Para além dos contratempos trazidos pelos impedimentos, o responsável pelo escalonamento de pessoal constrói as escalas em diferentes ficheiros levando a que o mesmo tenha de abrir todos os ficheiros em simultâneo para construir a escala geral, o que torna todo o processo ainda mais complexo, demorado e mais suscetível a erros. Assim, BVT Schedule App vem também uniformizar e centralizar as escalas de forma a facilitar a visualização e construção das mesmas. Os cenários que envolvem impedimentos por parte dos bombeiros motoristas e EIPs não são aqui considerados. Atendendo às limitações de efetivos por parte da corporação, não é possível responder de forma admissível a impedimentos de bombeiros desses perfis. Na prática, a corporação funciona de forma deficitária quando algum desses efetivos se encontra impedido de laborar.

Como referido, é na escala geral onde se pode observar a grande vantagem da aplicabilidade da BVT Schedule App. A Figura 5.11 mostra-nos o número de bombeiros (efetivos e voluntários) afetados a esta escala. Como era de prever, o número de voluntário diminuiu bastante, ou seja, a BVT Schedule App ajustou os bombeiros disponíveis à escala geral. O responsável pelo escalonamento de pessoal, quando se depara com este cenário tem bastante dificuldade em afetar os bombeiros, pois o leque que se encontra disponível é muito mais reduzido.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

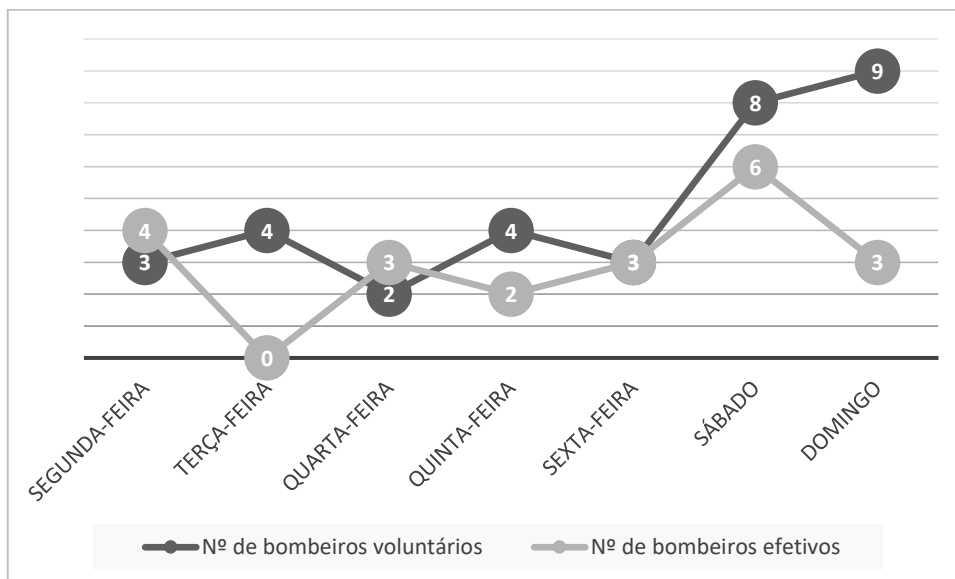


Figura 5.11 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso de uma semana regular com impedimentos)

Perante este cenário, a BVT Schedule App não consegue afetar nenhum bombeiro efetivo à escala geral na terça-feira, podendo ocorrer por força dos impedimentos. Apesar de ser indesejável, é incontornável quando os impedimentos são bastante restritivos.

Perante a dificuldade de afetação dos bombeiros aos turnos por parte da associação, a BVT Schedule App vem mostrar que pode auxiliar a associação nessa árdua tarefa. Esta dificuldade faz-nos crer que deverá ser a causa da reestruturação do serviço de telecomunicações, o qual deixou de ter turnos com horas sobrepostas e restrições para o sexo feminino e para o sexo masculino. Também admitimos que, pelas mesmas razões, a corporação tenha contratado mais bombeiros para a função de motorista. Contudo, para além do desígnio da obtenção de soluções que respeitem os requisitos definidos, a construção das escalas continua a ser realizada de forma manual, sem dar a prioridade desejada à maximizar da satisfação global da equipa.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

5.2.2 Caso de uma semana com feriado há segunda-feira

Neste ponto, a BVT Schedule App foi colocada em produção considerando que estamos perante uma semana irregular (com feriado à segunda-feira), para o mesmo perfil de preferências e impedimentos previamente registados no ponto 5.2.1. (alterando apenas as preferências e impedimentos de segunda-feira, devido a ser feriado), sendo usada para resolver este problema a formulação descritas no subcapítulo 4.3. Sendo a escala geral a mais complexa e onde é possível verificar um impacto significativamente mais positivo com a utilização da BVT Schedule App, esta será apresentada e analisada nesta secção. Posto isto, a solução ótima para as escalas de telecomunicações, geral e diálise é apresentada nas Figuras 5.12, 5.13 e 5.14.



Tipo de Escala								
Telecomunicações								
		Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8h-17h			Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel		
12h-20h			Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel		
20h-8h			Fabio Tel	Fabio Tel	Marco Tel	Marco Tel	Marco Tel	Marco Tel
20h-8h (Feriado)	Fabio Tel							
8h-20h							Fabio Tel	Fabio Tel
8h-20h (Feriado)	Marco Tel							

Horário de Feriado
Não há horário nesse espaço

Figura 5.12 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana não regular com feriado à segunda-feira

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua



	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8h-20h						Vitor Carvalho Mot Paulo Duarte EPI Voluntario 1 Voluntario 10 Voluntario 11 Voluntario 13	Andreia Tel Ricardo Martins EPI Voluntario 2 Voluntario 3 Voluntario 7 Voluntario 9
8h-20h (Feriado)	Nuno Ramos Mot Pedro EPI Sonia Santos EPI Voluntario 8 Voluntario 9 Voluntario 10						
20h-8h		Fixo 2 Voluntario 5 Voluntario 6 Voluntario 8 Voluntario 9	Marco Tel Jose Brito Mot Voluntario 2 Voluntario 12	Teresa Dias Voluntario 3 Voluntario 4 Voluntario 5	Fabio Tel João Correia EPI Rodrigo Sousa EPI Voluntario 5	Pedro Cruz Mot Tiago Snatos Mot Renato Dias Mot Voluntario 7 Voluntario 10 Voluntario 13	Tiago Marques Mot Jose Carlos EPI Luis Lorenzo EPI Voluntario 1 Voluntario 2 Voluntario 11
20h-8h (Feriado)	Voluntario 1 Voluntario 3 Voluntario 7 Voluntario 8 Voluntario 11 Voluntario 13						

 Horário de Feriado
 Não há horário nesse espaço

Figura 5.13 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana não regular com feriado à segunda-feira



	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
6h30*	Daniela Tel					Diogo Marques Mot	
7h00*	Pedro Marques Mot					Hugo Pereira EPI	
16h00*	Rodrigo Costa Mot					Nuno Trindade EPI	

 Horário de Feriado
 Não há horário nesse espaço

Figura 5.14 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana não regular com feriado à segunda-feira

Comparando a escala geral obtida através da BVT Schedule App com a escala construída manualmente (usando registos históricos) verifica-se que existem diferenças. Neste caso, para fazer face ao serviço na segunda-feira, a solução produzida pela BVT Schedule App afeta apenas bombeiros voluntários ao turno noturno, diferindo da solução construída manualmente. Para os outros turnos de trabalho, a BVT Schedule App consegue afetar os bombeiros de forma a satisfazer as suas preferências, produzindo uma solução de forma mais rápida do que a corporação (solução manual).

Comparando o número de bombeiros efetivos e bombeiros voluntários afetos à escala geral, obteve-se a Figura 5.15.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

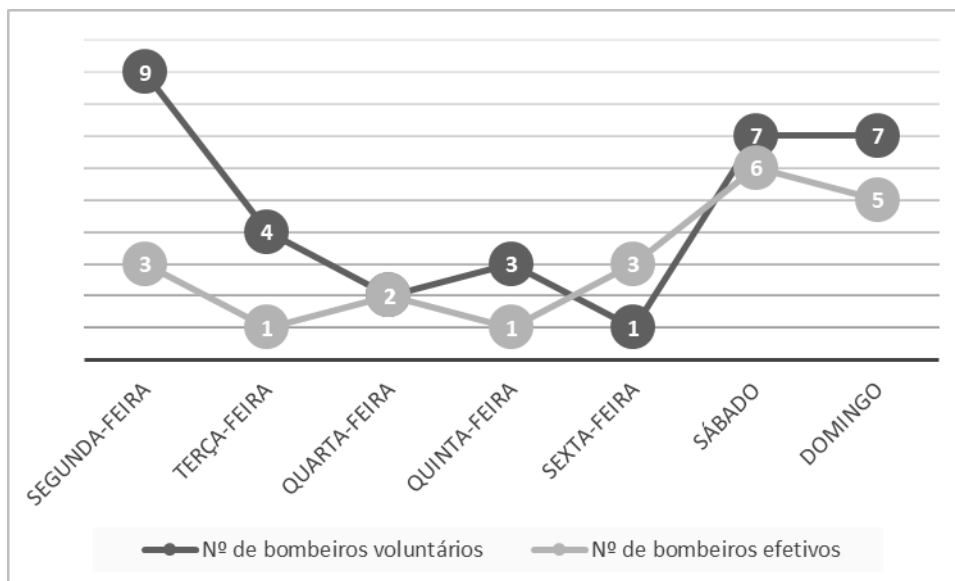


Figura 5.15 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso de uma semana não regular com feriado à segunda-feira)

Verifica-se que há segunda-feira (feriado) existe uma maior discrepância entre o número de bombeiros efetivos e bombeiros voluntários, sendo um resultado previsível. Conclui-se que nestes cenários os voluntários encontram-se mais disposto a realizar o serviço, contudo a afetação no global torna-se bastante complexa.

5.2.3 Caso de uma semana com um aumento de volume de trabalho significativo

Neste capítulo, a BVT Schedule App foi colocada em produção considerando que estamos perante uma semana regular onde houve um aumento significativo no volume de trabalho no serviço geral onde anteriormente eram necessários apenas 4 bombeiros nos dias úteis, passando a ser necessário pelo menos 6 bombeiros. Assim, para o mesmo perfil de preferências e impedimentos previamente registados no ponto 5.2.1., obteve-se a solução ótima representada nas Figuras 5.16, 5.17 e 5.18.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

	Tipo de Escala		Telecomunicações		Horário de Feriado			Não há horário nesse espaço	
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo		
8h-17h	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel	Daniela Tel				
12h-20h	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel	Andreia Tel				
20h-8h	Marco Tel	Fabio Tel	Marco Tel	Fabio Tel	Fabio Tel	Fabio Tel	Fabio Tel		
20h-8h (Feriado)									
8h-20h						Marco Tel	Marco Tel		
8h-20h (Feriado)									

Figura 5.16 Escala de Telecomunicações obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com aumento de volume de trabalho significativo

	Tipo de Escala		Geral (Diálise)		Horário de Feriado			Não há horário nesse espaço	
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo		
8h-20h						Daniela Tel Rodrigo Costa Mot Paulo Duarte EPI Voluntario 1 Voluntario 3 Voluntario 11	Andreia Tel Ricardo Martins EPI Voluntario 2 Voluntario 3 Voluntario 7 Voluntario 9		
8h-20h (Feriado)									
20h-8h	Fixo 2 Fixo 3 Jose Carlos EPI Voluntario 8 Voluntario 11 Voluntario 12	Marco Tel Pedro Cruz Mot Voluntario 5 Voluntario 6 Voluntario 8 Voluntario 9	Fabio Tel Jose Brito Mot Vitor Carvalho Mot Diogo Marques Mot Voluntario 2 Voluntario 12	Teresa Dias Pedro EPI Voluntario 3 Voluntario 4 Voluntario 5 Voluntario 7	João Correia EPI Rodrigo Sousa EPI Voluntario 1 Voluntario 5 Voluntario 10 Voluntario 13	Tiago Snatos Mot Renato Dias Mot Voluntario 7 Voluntario 9 Voluntario 10 Voluntario 13	Tiago Marques Mot Voluntario 1 Voluntario 2 Voluntario 10 Voluntario 11 Voluntario 13		

Figura 5.17 Escala Geral obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com aumento de volume de trabalho significativo

	Tipo de Escala		Geral (Diálise)		Horário de Feriado			Não há horário nesse espaço	
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabádo	Domingo		
6h30*						Luis Lorenzo EPI			
7h00*						Nuno Ramos Mot Hugo Pereira EPI			
16h00*						Nuno Trindade EPI			

Figura 5.18 Escala Geral (Diálise) obtida através da BVT Schedule App para uma semana regular e com aumento de volume de trabalho significativo

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Neste cenário é possível observar a complexidade do problema, pois com o aumento de volume de trabalho o número de bombeiro afetos à escala geral é o mínimo admissível. Sabendo que na escala geral, todos os bombeiros efetivos (em outras funções na associação) e todos os bombeiros voluntários podem ser alocados ao serviço, a BVT Schedule App conseguiu, apesar de todos os obstáculos, alcançar a solução ótima maximizando a satisfação global de toda a equipa. Manualmente, como é atualmente realizada a construção da escala, observa-se que o responsável pelo escalonamento de pessoal não consegue responder da forma mais assertiva quando está perante este cenário. Por fim, neste cenário, à Figura 5.19 apresenta o número de bombeiros (efetivos e voluntários) afetos à escala geral. Observa-se que, nos casos de contingências a análise destes valores é semelhante.

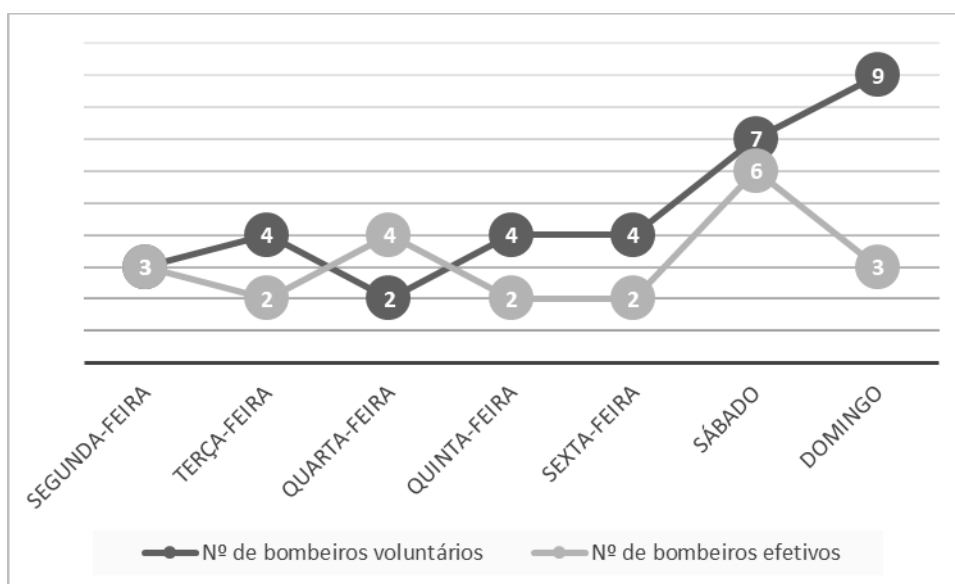


Figura 5.19 Nº de bombeiros voluntários vs. Nº de bombeiros efetivos para a escala geral (caso de uma semana co aumento de volume de trabalho significativo)

Conclui-se que é nas circunstâncias de contingência (impedimentos, feriados e aumento de volume de trabalho) que o responsável pelo escalonamento de pessoal tem maior dificuldade em obter soluções adequadas. É também nesses casos que a BVT Schedule App se revela mais eficaz.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

6 CONCLUSÃO

Com este projeto, pretendia-se não só desenvolver a BVT Schedule App para ajudar o responsável do escalonamento de pessoal aquando do planeamento de escalas de trabalho na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua, como também apelar à necessidade deste tipo de aplicações no munto empresarial. Neste projeto, foi desenhado e construída a BVT Schedule App de apoio ao planeamento de escalas de trabalho, com o objetivo de maximizar a satisfação global da equipa. Na associação em questão, todo o processo de planeamento é atualmente desenvolvido de forma manual, o que causa dificuldades ao comandante. Por isso, a construção de um método exato que gerasse soluções confiáveis e que, em simultâneo, maximizasse a satisfação dos bombeiros e minimizasse o tempo gasto neste processo era o propósito deste projeto. Para tal, foram criadas duas formulações que atendessem aos pré-requisitos da associação. Numa primeira formulação não foram consideradas as semanas não regulares, ou seja, as semanas com feriados. Sendo esta formulação menos complexa, utilizou-se o *OpenSolver* para solucionar este problema. Numa segunda formulação, o modelo foi estendido, permitindo o processamento de semanas regulares e não regulares, originando uma formulação de maior dimensão. Por esse motivo, utilizou-se o *SolverStudio* pelo facto de integrar funcionalidades de programação, nomeadamente *Python*. Adicionalmente, foram integrados na BVT Schedule App formulários de apoio à recolha das preferências e impedimentos.

6.1 Principais contributos

Na análise realizada sem impedimentos relativamente aos bombeiros efetivos, concluiu-se que as soluções obtidas pela BVT Schedule App assemelhavam-se às soluções desenhadas manualmente, transmitindo confiança à associação. Apesar das soluções serem equivalentes, este sistema reduz significativamente o tempo de construção das escalas de trabalho e melhora o procedimento de recolha das preferências e impedimentos atualmente adotado pelos Bombeiros Voluntários de Tábua. Verificou-se que a BVT Schedule App recolheu as preferências e os impedimentos dos colaboradores pelos turnos

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

de forma muito mais rápida, adaptada e eficaz, o que irá proporcionar uma melhoria significativa na associação. Anteriormente, a associação recolhia este tipo de informação de forma manual, em papel ou mesmo através de uma conversa informal com o bombeiro, o que tornava todo este processo mais demorado e suscetível a erros.

Para além disso, a BVT Schedule App, após receber a informação sobre as preferências e impedimentos dos bombeiros, gera de forma automática e rápida um plano de horários que respeita todas as condições de funcionamento do serviço. Isto significa que, em poucos minutos, a BVT Schedule App constrói as escalas de trabalho, algo que anteriormente era feito de forma manual e demorava aproximadamente uma semana. Por vezes, na associação, esta tarefa (construção das escalas) tinha de ser repartida pelos coordenadores de cada especialidade/função, procurando distribuir o esforço de construção e assim responder de forma mais rápida. Ainda assim, este processo consumia bastantes horas de trabalho, impedido que estes colaboradores pudessem estar a desempenhar funções operacionais (na sua qualidade de bombeiros), ou mesmo, obrigando-os a disporem de horas fora do serviço regular. Para além desta vantagem, a construção da BVT Schedule App vem contribuir positivamente para o aumento da satisfação da equipa, pois através da recolha prévia das preferências dos colaboradores, a BVT Schedule App consegue construir as escalas de trabalho de forma a maximizar a satisfação global da equipa. Desta forma, aumenta o envolvimento e a satisfação dos colaboradores pelas escalas a realizar, tornando toda a equipa mais satisfeita e consequentemente mais produtiva. Outra vantagem é que com a BVT Schedule App todas as escalas ficam uniformes e centralizadas numa só plataforma. Atualmente estas são construídas em diferentes ambientes o que torna todo o processo complexo, mas demorado e mais suscetível a erros, nomeadamente aquando da construção da escala geral, pois o responsável do escalonamento de pessoal tem de ter em conta todas as outras escalas sendo difícil visualizá-las em simultâneo.

Em síntese, a BVT Schedule App vem contribuir para melhorar a satisfação global da equipa; reduzir o tempo de execução do processo de recolha de preferências e construção

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

das escalas de trabalho; e uniformizar e centralizar as escalas de trabalho numa só plataforma.

6.2 Limitações

Na fase de avaliação da BVT Schedule App, verificou-se que a associação tinha restaurado o serviço de telecomunicações, deixando de ter turnos com horas sobrepostas e restrições para o sexo feminino e para o sexo masculino, inviabilizando a comparabilidade com as soluções produzidas pela BVT Schedule App. Consequentemente, esta alteração influenciou a escala geral, atingindo também as outras escalas, o que nos obrigou a comparar as escalas obtidas pelas BVT Schedule App com as escalas construídas no passado, antes da alteração na estrutura promovida recentemente. Para além desta limitação, e ainda nesta fase de avaliação, houve dificuldade em recolher as preferências dos bombeiros, fruto das alterações já mencionadas, sendo uma limitação para o projeto. Porém, foi possível ainda obter grande parte das preferências dos bombeiros para o período avaliado.

6.3 Trabalhos futuros

Numa perspetiva pessoal, um dos objetivos futuros seria construir a BVT Schedule App em outro ambiente, onde fosse possível, através de *login*, todos os bombeiros de forma intuitiva disponibilizarem as suas preferências pelos horários. Ainda na BVT Schedule App, criar, após recolha das preferências, um espaço destinado ao responsável do escalonamento de pessoal para, de forma automática, construir as escalas de trabalho de forma a maximizar a satisfação global da equipa. Para mais, prevê-se alargar de forma mais intuitivo a construção das escalas para quatro semanas consecutivas, ou seja, um mês de trabalho.

6.4 Considerações finais

No âmbito do presente projeto destaca-se ainda a participação na 19ª Edição do Poliemprende e a submissão de um artigo científico para 23.ª Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação (CAPSI'2023), aguardado parecer dos revisores.

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

Espera-se que os conteúdos desenvolvidos neste projeto deem lugar à construção de novas formulações matemáticas adaptadas à realidade de cada organização, para auxiliar essas organizações no planeamento das escalas de trabalho, e que as mesmas sejam efetivamente postas em prática, ajudando o dia-a-dia dos gestores de recursos humanos.

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

REFERÊNCIAS

- Baker, K. R. (1976). Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey. *Journal of the Operational Research Society*, 27(1). <https://doi.org/10.1057/jors.1976.30>
- Becker, T., Steenweg, P. M., & Werners, B. (2019). Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services. *Health Care Management Science*, 22(4). <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9451-9>
- Böðvarsdóttir, E. B., Bagger, N. C. F., Høffner, L. E., & Stidsen, T. J. R. (2022). A flexible mixed integer programming-based system for real-world nurse rostering. *Journal of Scheduling*, 25(1). <https://doi.org/10.1007/s10951-021-00705-7>
- Caballini, C., & Paolucci, M. (2020). A rostering approach to minimize health risks for workers: An application to a container terminal in the Italian port of Genoa. *Omega (United Kingdom)*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.08.001>
- Cheang, B., Li, H., Lim, A., & Rodrigues, B. (2003). Nurse rostering problems—a bibliographic survey. *European Journal of Operational Research*, 151(3). [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00021-3)
- COIN|OR (2022). <https://coin-or.github.io/pulp/>
- De Bruecker, P., Van Den Bergh, J., Beliën, J., & Demeulemeester, E. (2015). Workforce planning incorporating skills: State of the art. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 243, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.038>
- 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*, 153(1). [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00095-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00095-X)
- Forrest, J., Ralphs, T., Santos, H. G., Vigerske, G., Hafer, L., Kristjansson, B., jpfasano, EdwinStraver, Lubin, M., rlougee, jpgoncal1, Jan-Willem, h-i-gassmann, Brito, S., Cristina, Saltzman, M., tostost, Fumiaki MATSUSHIMA, & to-st. (2022). coin-

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

or/Cbc: Release releases/2.10.7 (releases/2.10.7). Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5904374>

Knust, F., & Xie, L. (2019). Simulated annealing approach to nurse rostering benchmark and real-world instances. *Annals of Operations Research*, 272(1–2).
<https://doi.org/10.1007/s10479-017-2546-8>

Kyngas, N., Kyngas, J., & Nurmi, K. (2012). Optimizing large-scale staff rostering instances. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2196.

Mason, A. J. (2012). *OpenSolver - An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64

Mason, A. J. (2013). SolverStudio: A New Tool for Better Optimisation and Simulation Modelling in Excel. *INFORMS Transactions on Education*, 14(1).
<https://doi.org/10.1287/ited.2013.0112>

Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3). <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>

Sharma, V. , T. A. K. (2021). A Study on User Interface and User Experience Designs and its Tools. *World Journal of Research and Review (WJRR)*, 12(6), 41–44.

Shiau, J.-Y., Huang, M.-K., & Huang, C.-Y. (2020). A Hybrid Personnel Scheduling Model for Staff Rostering Problems. *Mathematics*, 8(10).
<https://doi.org/10.3390/math8101702>

Terenzi, M., Ricciardi, O., & Di Nocera, F. (2022). Rostering in Air Traffic Control: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph19084625>

Türker, T., & Demiriz, A. (2018). An Integrated Approach for Shift Scheduling and Rostering Problems with Break Times for Inbound Call Centers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7870849>

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Van Den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226(3). <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.029>

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

ANEXOS

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

ANEXO 1

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Esboço da Matriz de Preferência

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	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400
401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500
501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600
601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700
701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800
801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100
1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200
1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300
1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	14																																					

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

ANEXO 2

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Número mínimo de bombeiros necessários em cada horário

Turnos comuns nos dias úteis (seg., ter., qua., qui, sex.)	Número mínimo de bombeiros necessários, por dia útil
9h-18h – fixo	2
8h-17h – fixo	1
8h-17h – tel	1
12h-20h – tel	1
20h-8h – tel	1
6h30-15h30 – mot	2
8h-17h – mot	3
12h-20h – mot	3
15h-24h – mot	2
6h-14h – EIP	5
13h-21h – EIP	5
20h-8h – geral	4
Turnos de Sábado	Número mínimo de bombeiros necessários
20h-8h – tel – Sáb.	1
8h-20h – tel – Sáb.	1
6h30-15h30 – diálise – Sáb.	1
7h-16h – diálise – Sáb.	1
16h-24h – diálise – Sáb.	1
8h-20h – geral – Sáb.	6
20h-8h – geral – Sáb.	6
Turnos de domingo	Número mínimo de bombeiros necessários
20h-8h – tel – Dom.	1
8h-20h – tel – Dom.	1
8h-20h – geral – Dom.	6
20h-8h – geral – Dom.	6
Turnos se feriado nos dias úteis (seg., ter., qua., qui, sex.)	Número mínimo de bombeiros necessários, por dia útil
20h-8h – tel	1
8h-20h – tel	1
6h30-15h30 – diálise	1
7h-16h – diálise	1
16h-24h – diálise	1
8h-20h – geral	6
20h-8h – geral	6

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

ANEXO 3

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Número máximo de horários semanais que bombeiro pode realizar

Bombeiro	Número máximo de horários semanais	Observações
Bombeiros do serviço de Telecomunicações (Masculino)	8	Todos os bombeiros do serviço de telecomunicações (masculino) poderão realizar no máximo 8 horários onde dois horários são referentes a folgas
Voluntários	3	Todos os voluntários poderão realizar no máximo até 3 horários
Restantes Bombeiros	6	

*BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação
Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua*

ANEXO 4

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

Exemplo de escalas obtidas manualmente pela AHBVT (para uma semana regular de novembro de 2022)

• Escala EIP

DIA	7	8	9	10	11	12	13
06h / 14h	2	2	2	2	2		
13h / 21h	1	1	1	1	1		

Legenda:

1- Equipa 1 constituída por

2- Equipa 2 constituída por

• Escala Motorista

DIA	7	8	9	10	11	12	13
06:30 / 15:30	E	E	E	E	E		
	B	B	B	B	B		
	J	J	J	J	J		
08H / 17H	F	F	F	F	F		
	A	A	A	A	A		
12H / 20H	G	G	G	G	G		
	H	H	H	H	H		
15H / 24H	I	I	I	I	I		
	D	D	D	D	D		

Legenda:

- A- Pedro Cruz
- B- Pedro Marques
- C- Tiago Santos
- D- José Brito
- E- Renato Dias
- F- Vítor Carvalho
- G- Tiago Marques
- H- Nuno Ramos
- I- Rodrigo Costa
- J- Diogo Marques

BVT Schedule App – Otimização do escalonamento de pessoal na Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Tábua

• Escala Telecomunicações

DIA	7	8	9	10	11	12	13
08H/20H							
						G	G
20H/08H	G	G	G	F	F	M	M
08H/17H	D	D	D	D	D		
12H/20H	A	A	A	A	A		

Legenda:

A- Andreia
D- Daniela
G – Gonçalo
M – Marco
F - Fábio

• Escala Geral

DIA	SERVIÇO GERAL									
7	José Brito	Hugo Pereira	Sónia Santos	Mário Rui						
8	Ricardo Martins	Rodrigo Costa	Rodrigo Sousa	João Patrício						
9	Pedro Cruz	Vitor Carvalho	Pedro Marques	Fábio Madeira						
10	Teresa Dias	Gonçalo Marques	Bruno Gomes	Mário Neves						
11	José Carlos	Paulo Duarte	Carla Lourenço	João Paulo						
12	Paulo Duarte	Carla Lourenço	Patrícia Abreu	Teresa Dias	João Patrício	Rogério Ribeiro				
12	Nuno Ramos	Renato Dias	António Marques	José Silva	Tiago Patrício	Luís Gonçalves				
13	Pedro Cruz	Rodrigo Sousa	Vitor Gomes	Rodrigo Costa	Carolina Abreu	Mário Coelho				
13	Luís Lourenço	Pedro Padilha	Mónica Jorge	Tatiana Ferreira	Mário Neves	Diogo Rodrigues				

• Escala Geral (Diálise)

12.11	MARCO RAMOS	06h30
12.11	PEDRO MARQUES	07h00
12.11	TIAGO MARQUES	16h00