

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

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
RELATÓRIO DE ESTÁGIO

PLANEAMENTO DE RECURSOS HUMANOS NA PRODUÇÃO

JOANA RITA DE MELO FREITAS

OUTUBRO - 2019

MESTRADO EM
MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA
E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
RELATÓRIO DE ESTÁGIO

PLANEAMENTO DE RECURSOS HUMANOS NA PRODUÇÃO

JOANA RITA DE MELO FREITAS

ORIENTAÇÃO:

PROFESSORA LEONOR SANTIAGO PINTO
ENG.º MANUEL MANARTE (SCIENCE4YOU)

OUTUBRO - 2019

AGRADECIMENTOS

O presente relatório de estágio de mestrado não poderia ter sido concluído sem o apoio de várias pessoas, às quais devo agradecer.

Especialmente à minha orientadora, Professora Leonor Santiago Pinto, que sempre acreditou em mim, por toda a paciência, empenho e disponibilidade que demonstrou. Muito obrigada por todas as sugestões que deu ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à empresa, Science4you, por ter proporcionado este estágio e ter proposto este trabalho, principalmente ao Eng.º Manuel Manarte e ao Dr. Ricardo Brito que me ajudaram ao longo destes meses de trabalho.

Quero também agradecer aos meus pais, à minha irmã e ao André, por toda a ajuda e apoio que me deram ao longo destes meses.

RESUMO

O Planeamento de Recursos Humanos é crucial na área da manufatura, no entanto, segundo a literatura, este aspeto nem sempre tem sido suficientemente valorizado pela gestão das empresas. Contudo, a situação tem vindo a alterar-se estando o *manpower planning* a ganhar cada vez maior destaque nas organizações. Com o aumento da competitividade, os recursos disponíveis nas empresas têm de ser aproveitados da melhor maneira, tanto a nível da quantidade de trabalho como da sua qualidade. Foi neste âmbito que a Science4you propôs o tema para este TFM.

O estudo que se desenvolve no presente trabalho foca-se apenas na fase de produção, mas a empresa também desenvolve e comercializa os brinquedos. Mais concretamente, o objetivo do estudo é determinar a quantidade de trabalhadores que devem ser afetos à produção de modo a satisfazer todos os pedidos de produção. Como se pretende estabilidade na quantidade de trabalho, e atendendo à sazonalidade da procura, utiliza-se para o efeito um plano semestral, pois um dos semestres inclui o mês do Natal e o outro o mês que antecede o dia da criança, que são os que se distinguem dos restantes meses por um elevado volume de vendas. No final responde-se com a quantidade de trabalho mínima necessária por mês que permite ter uma perceção sobre o número de trabalhadores necessários. Adicionalmente, é também proposto um processo de escalonamento do pessoal fabril de modo a cumprir um dado plano de produção diário, atendendo igualmente às limitações impostas pela capacidade das linhas de produção.

Para obter o tempo de trabalho mensal mínimo desenvolve-se um modelo de programação linear. O valor obtido por este modelo é utilizado numa heurística que faz o escalonamento de um plano diário de produção. Ambas as metodologias são testadas com recurso a dados fornecidos pela empresa. O modelo é resolvido pelo *OpenSolver* e a heurística programada em *VBA*.

Palavras-chave: *manpower planning*, programação linear, heurísticas

ABSTRAT

The Human Resources Planning is crucial to manufacturing, however, according to literature, companies have not always valued it properly. Yet, the situation has been changing and manpower planning has been taking its place inside the companies. The increase of competitiveness demands for an efficient use of the available resources either in quantity or in quality. It is in this context that Science4you proposed this subject for the TFM.

This study focuses on the production phases, nevertheless the company also develops and commercializes toys. More specifically, the goal of this study is to determine the quantity of employees that should be allocated to production in order to satisfy all production requests. To ensure stability in the amount of work, considering the seasonal nature of consumer demand, a semester plan is recommended, as one semester includes the month of Christmas and the other includes the month before Children's Day, which are the two month with the largest amount of sales in the year. The scope of the study is to determine the minimum quantity of work per month that allows the company to correctly asses the number of employees required. Additionally, it is also proposed a process of staggering manufacturing staff in order to comply with a given daily production plan, taking into account the limitations imposed by the capacity of the production lines.

To obtain the minimum monthly working time, a linear programming model was developed. The results obtained by this model were used in a heuristic that scales a daily production plan. Both methodologies were tested using data provided by the company. The model is solved by OpenSolver and the heuristic programmed in VBA.

Keyword: manpower planning, linear programming, heuristic

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstrat	v
Índice	vi
Lista de Tabelas	7
1. Introdução	8
2. Science4you	10
3. O Problema	12
4. Revisão de Literatura	15
5. Metodologia	18
6. Resultados	32
7. Conclusão	36
Referências Bibliográficas	37
ANEXOS	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista do número de estações de cada linha.....	13
Tabela 2. Lista de Ordens de Produção - exemplo	20
Tabela 3. Lista de Ordens de Produção a considerar na Heurística - exemplo	22
Tabela 4. Escalonamento da produção pelas diversas linhas - exemplo	30
Tabela 5. Escalonamento da produção pelos diversos trabalhadores (incompleto) - exemplo	31
Tabela 6. Resultados do Modelo com flexibilidade de produção entre meses.....	32
Tabela 7. Resultados do Modelo sem flexibilidade de produção entre meses	34
Tabela 8. Resultado do escalonamento das Ordens de Produção pelas diversas linhas – parte 1	38
Tabela 9. Resultado do escalonamento das Ordens de Produção pelas diversas linhas – parte 2	39
Tabela 10. Resultado do escalonamento das Ordens de Produção pelos diversos trabalhadores.....	40

1. INTRODUÇÃO

A Science4you é uma empresa portuguesa que tem como objetivo proporcionar às crianças uma contínua aprendizagem e aquisição de conhecimentos enquanto brincam. Atualmente, não só influencia o modo de brincar das crianças em Portugal, como de muitas outras a nível internacional, sendo que as exportações têm um grande relevo na comercialização destes brinquedos. Para além da comercialização, também é a própria empresa que desenvolve e produz os produtos. Contudo, neste trabalho apenas se terá em conta a fase da produção desses brinquedos.

Para satisfazer totalmente a necessidade de produção da empresa é importante uma eficiente utilização dos recursos ao longo da transformação da matéria-prima em produtos comercializáveis, minimizando desperdícios e gastos desnecessários. Esses recursos dizem respeito, não só à matéria-prima, como também à mão-de-obra disponível para o desempenho das atividades da produção. Este último recurso é o objeto deste trabalho.

De modo a satisfazer totalmente a procura do mercado e a aproveitar da melhor maneira os recursos, deve-se dar ênfase ao Planeamento de Recursos Humanos. Entre as várias tarefas que constituem esta função de gestão, encontra-se a determinação do número de pessoas necessárias a afetar à atividade em questão. Neste trabalho, procura-se um mecanismo que facilite a determinação do número de trabalhadores a afetar ao processo produtivo, tendo em vista o cumprimento da produção planeada. Complementarmente, desenvolve-se um procedimento de afetação dos trabalhadores às diversas linhas de produção para cumprir um plano diário.

O presente estudo surge na sequência do Trabalho Final de Mestrado apresentado por Inês Pinto (2019). O referido trabalho segue uma abordagem de Programação Linear por Metas Hierarquizadas que procura minimizar os desvios entre os objetivos de produção e a produção efetiva, enquanto que aqui é desenvolvido um Modelo de Programação Linear que procura saber o mínimo de tempo de produção mensal, garantindo que toda a produção pedida é produzida.

No ponto seguinte será apresentada a empresa mais detalhadamente e, em seguida, apresentar-se-á a descrição do problema em estudo. Na Revisão de Literatura é apresentado o contexto do problema referenciado anteriormente. Posteriormente, é

desenvolvida a metodologia proposta para a resolução do problema e, depois, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação dessa mesma proposta. O ponto final deste trabalho diz respeito às conclusões obtidas com a realização do mesmo.

2. SCIENCE4YOU

A Science4you é uma empresa 100% portuguesa com 11 anos de existência, feitos em janeiro de 2019. Dedicar-se ao desenvolvimento, produção e comercialização de brinquedos educativos e científicos bem como ao desenvolvimento de atividades para crianças: festas de aniversário, campos de férias e animação científica. Tem como missão melhorar os níveis de educação na sociedade, através do desenvolvimento de brinquedos educativos e jogos didáticos que permitam às crianças aprender enquanto brincam. Ambicionam ser uma das três maiores marcas de brinquedos na Península Ibérica e exportá-los para todo o Mundo enquanto se divertem a fazê-los. Os valores pelos quais a empresa se rege são a excelência, o empenho e a eficiência.

A ideia nasceu quando o CEO da empresa, Miguel Pina Martins, fez o seu projeto final de curso. Juntamente com o seu grupo de trabalho, teria de fazer um Plano de Negócios para um projeto e apresentar a sua viabilidade. De modo a escolher o projeto que iam analisar, escreverem vários temas em pequenos papéis e colocaram-nos dentro de um chapéu para fazer um sorteio. A rifa premiada foi “kits de Física”. Pesquisando sobre o mercado, aperceberam-se que havia uma lacuna no comércio dos brinquedos, não existia a ideia de juntar a educação à brincadeira, acabando por preencher essa falha ao constituir a Science4you em 2008.

Em 2009 fizeram uma parceria com a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para a realização de festas de aniversário científicas e para a produção de alguns brinquedos. Neste mesmo ano iniciaram a venda online dos brinquedos no próprio site. No ano seguinte, em 2010, abriram no Centro Comercial Colombo o primeiro quiosque Science4you e receberam o prémio “Entrepreneur of the Year 2010” na Comissão Europeia. A primeira venda numa grande superfície em Portugal foi efetuada em 2011, pela Auchan.

Nesse mesmo ano, em 2011, constituíram a subsidiária espanhola da empresa e abriram um quiosque próprio em Espanha. Esta foi aceite, em 2017, como membro da AEFJ – Asociación Española de Fabricantes de Juguetes, uma das maiores associações de fabricantes de brinquedos da Europa. A constituição da subsidiária britânica, a Science4you, Ltd., foi em 2013, embora só tenha sido aberto o primeiro quiosque próprio neste país em 2014, em Londres. No ano de fundação desta subsidiária a empresa recebeu

o prémio “Business Internationalization Award”, atribuído pela UKTI (United Kingdom Trade & Investment Organization). Através de diversos distribuidores internacionais, os brinquedos já chegaram a superfícies comerciais em Moçambique, Polónia, Dubai, China, Rússia, Escandinávia, Estados Unidos, Itália, Grécia e Canadá.

Primeiramente, as operações produtivas e fabris eram feitas na cave do edifício ICAT na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, tendo estas passado para o Lispolis – Associação para o Polo Tecnológico de Lisboa em 2012. No ano seguinte, em 2013, as instalações produtivas foram transferidas para o Prior Velho, dado que as instalações em que se encontravam já não conseguiam suportar as operações. Hoje todas as atividades da empresa situam-se no MARL, tendo a produção sido deslocada para este espaço em 2015 e as atividades de suporte e administração juntaram-se em 2016. Mais tarde, em 2017, havendo a necessidade de aumentar o espaço de armazenamento e de tratamento de logística inversa, adquiriram uma nova localização logística, no Forte da Casa.

A Science4You é participante das feiras e exposições de brinquedos a nível internacional, tendo feito as suas primeiras participações nas Feiras Internacionais de Brinquedos de Nuremberga (Alemanha) e Londres (Inglaterra) em 2012.

A empresa tem recebido diversos prémios ao longo dos anos, tal como, para além dos mencionados em cima, o prémio “Brand of the Year” atribuído pela Time Out em 2013, o prémio “Startup of the Year” atribuído pela Portugal Ventures em 2014 e o prémio “European Champion, Chairman Choice” atribuído pela European Business Awards em 2016.

É também importante referir que, sendo uma empresa com relativamente poucos anos de existência, ainda tem algumas melhorias a realizar. Atualmente, encontra-se a implementar um software atualizado. Até 2018, cada departamento tinha o seu sistema informático, o que dificultava quando era necessária a colaboração entre diversas áreas da empresa. Foi em janeiro de 2019 que iniciaram o processo de transição de todos os sistemas utilizados para SAP, uniformizando os processos e a informação.

3. O PROBLEMA

A Science4you detetou que haveria margem para melhorias no seu processo produtivo, as quais deveriam ser estudadas e avaliadas. Como tal, propuseram que esse estudo fosse desenvolvido por um aluno de mestrado no âmbito de um estágio.

Para formular o problema a tratar tornou-se imprescindível compreender o processo de planeamento e de produção atualmente praticados na empresa. Assim, este ponto começa com a descrição destes processos e clarificação de alguns conceitos, para posteriormente identificar o problema de forma simples.

O departamento do Planeamento e Controlo da Produção faz o planeamento da produção a cada seis meses, havendo por vezes a necessidade de alguns ajustamentos nessa previsão ao longo das respetivas semanas, devido a eventuais alterações no meio envolvente da produção. O planeamento é detalhado em ordens de produção.

Com o decorrer do tempo, os gestores da produção aperceberam-se que nem sempre são cumpridas todas as ordens de produção. Questionando-se sobre o motivo de tal discrepância, pretendem testar se tal se deve a deficiências na gestão dos recursos humanos ou, pelo contrário, se a dimensão da equipa de produção atual é adequada. E assim surge o presente trabalho - calcular o número ideal de trabalhadores a afetar à produção.

As vendas apresentam sazonalidade evidente, existem, ao longo do ano, dois picos de vendas, o Dia da Criança e o Natal (embora o aumento da produção não aconteça exatamente nos meses de junho e dezembro). Este fator provoca uma inconstância no volume da produção ao longo dos meses podendo, eventualmente, justificar-se o recurso a contratos de trabalho temporários para satisfazer a procura em determinados períodos.

Atualmente estão em produção 1.720 referências distintas. Uma referência corresponde a uma das fases de produção de um produto final (ou de vários produtos finais) que é executada por uma equipa com dimensão específica.

Os planos elaborados, tal como referido anteriormente, são listas de ordens de produção. Uma ordem de produção tem associada uma referência, respetiva quantidade e linha atribuída. A dimensão da equipa e tempo médio de produção de cada referência são constantes e conhecidas. Além disso, cada ordem de produção, tem uma data prevista

para a sua execução. Deste modo podemos referir-nos ao plano semestral, mensal, semanal ou diário.

A produção é feita em diversas linhas com funções específicas. Existem duas linhas de produção final (PF01 e PF02), quatro linhas de produção intermédia divididas entre duas de etiquetagem (PI32 e PI14) e duas de inserção automática de componentes num só saco (PI25 e PI30) e quatro linhas de produção primária divididas entre duas de enchimento de frascos com componentes sólidos em mesas (PI1 e PI33), uma de enchimento de frascos com componentes líquidos (PI31) e uma de enchimento de frascos com componentes sólidos (PI34). Algumas das linhas possuem diversas estações, cada estação tem um funcionamento autónomo. Por exemplo, a linha PI1 tem 11 estações o que permite a execução simultânea de 11 ordens. As linhas podem ser agrupadas por tipos, sendo que há linhas com características iguais que, por isso, podem produzir os mesmos produtos. Como exemplo tem-se a linha PF01 e a linha PF02 que têm as mesmas especificidades e, por isso, constituem um tipo de linha.

O número de estações de cada linha consta da tabela seguinte:

LINHA	ESTAÇÕES
PF01	1
PF02	1
PI25	2
PI30	2
PI14	2
PI32	2
PI31	5
PI34	1
PI1	11
PI33	1

Tabela 1. Lista do número de estações de cada linha

A empresa realiza por vezes um processo que denomina por desprodução (efetuada na linha PI50) que consiste na produção inversa, isto é, por vezes existe a necessidade de desfazer o trabalho feito para reaproveitar referências necessárias para produzir outras referências quando estas são mais urgentes e não há stock suficiente. Algumas das

referências que entram no processo produtivo da Science4you vêm dos fornecedores já preparadas (*outsourcing* – registado como linha PI51).

A empresa encontra-se em laboração 22 dias por mês e o seu horário de funcionamento é de 9 horas por dia. Um trabalhador tem um tempo produtivo de 7 horas, mas permanece na empresa pelo menos 8, sendo que têm direito a duas pausas de 15 minutos, uma de manhã e outra à tarde, e ainda 30 minutos que são considerados tempos mortos. Para além das referidas pausas o trabalhador tem 60 minutos para almoço.

No presente trabalho procura-se, em particular, responder a duas questões. A primeira prende-se com o número de trabalhadores mínimo que a empresa deve ter disponível para executar um plano semestral e será formulada através da programação linear. A segunda questão procura escalonar os trabalhadores afetos de modo a dar cumprimento a um plano diário, recorrendo eventualmente a trabalho temporário que, em todo o caso deve ser minimizado. Este escalonamento será efetuado por um método heurístico desenvolvido para o efeito.

De modo a responder a essas questões, são consideradas algumas condições. No que diz respeito às linhas de produção, estando as linhas divididas por tipos, há a possibilidade de uma dada referência ser produzida na linha referida na respetiva ordem de produção ou numa outra linha desse mesmo tipo, havendo assim uma maior flexibilidade de produção.

Uma outra condição refere-se ao período em que cada referência tem de ser produzida. Como primeira hipótese, a quantidade pedida de cada referência tem de ser produzida no mês da ordem de produção ou, como segunda hipótese, pode ser igualmente produzida durante os meses que antecedem o mês em que é pedida, incluindo também o próprio mês. Esta última hipótese torna o modelo mais flexível para escalonar toda a produção.

Antes de detalhar a metodologia no ponto 5, apresenta-se uma revisão de literatura.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Frederick Winslow Taylor (1995), considerado o pai da administração científica e tendo como principal foco de estudo a eficiência e eficácia operacional na gestão industrial, baseou a sua teoria em quatro princípios que foram referenciados no livro *Introdução à Teoria Geral da Administração* (Chiavenato, 2003): o princípio do planeamento (uso de procedimentos, sendo o trabalho planeado e testado para reduzir e racionalizar as operações), o princípio da preparação dos trabalhadores (seleção de trabalhadores tendo em conta as suas competências e treinando os mesmos para melhorar as suas capacidades de produção), o princípio do controlo (confirmação de que o trabalho está a seguir o rumo planeado e o mesmo é concluído com sucesso) e o princípio da execução (distribuição de tarefas e responsabilidades para uma produção contínua e organizada). Tendo em consideração apenas o princípio da preparação dos trabalhadores, aborda-se o conceito de *Manpower Planning*, isto é, planeamento de recursos humanos (PRH).

Nwachukwu (1998), citado por Anyim, Mba e Ekwoaba (Anyim et al., 2012), afirma que o planeamento de recursos humanos é a primeira e mais importante função da gestão, para qualquer que seja a área de negócio. Segundo estes últimos três autores o propósito do PRH é ter o número certo de trabalhadores, no sítio e tempo certos, com as necessárias capacidades de trabalho, de modo a que os objetivos da empresa sejam alcançados. Afirmam também que o grande objetivo do planeamento é preparar-nos para o futuro, através da previsão, e acrescentam que esse planeamento está a tornar-se mais complexo devido ao inconstante ambiente económico em que vivemos e, conseqüentemente, à crescente dificuldade de prever. Segundo Randal (2000) o PRH diz respeito ao processo de desenvolver e implementar planos e programas que assegurem o propósito do PRH apresentado em cima, o que foi referenciado no artigo de Samwel (2018).

Os recursos humanos são referidos em Pradeesh (2011) como a essência de uma organização. Segundo este autor, o processo de PRH apresenta quatro etapas. Primeiro faz-se a previsão da necessidade de trabalhadores no futuro, em seguida toma-se conhecimento do número de trabalhadores já presentes na empresa e das suas capacidades de trabalho, posteriormente projeta-se para o futuro esses recursos humanos já disponíveis comparando-os com a previsão de necessidades feita anteriormente de modo a perceber

em termos de quantidade e capacidade de trabalho qual a mão-de-obra adequada para o futuro e, por fim, avaliam-se as possíveis decisões para com os trabalhadores como, por exemplo, a contratação de novos recursos, a formação dos que já constituem os quadros da empresa ou a promoção ou transferência interna de trabalhadores.

Em relação às diversas soluções que poderão ser executadas no PRH, é de ter em conta que as decisões tomadas terão como foco o alcance dos objetivos da empresa, nomeadamente a diminuição de gastos. Assim, a análise dos recursos humanos já disponíveis na empresa será muitas vezes primordial, sendo que apenas se estes não estiverem a satisfazer as necessidades é que poderão haver contratações, garantindo a respetiva adequação às atividades do negócio. Caso haja internamente pessoas suficientes para integrar esses trabalhos, porém não apresentem conhecimentos suficientes para desempenhar essas funções, poderá analisar-se se é mais rentável dar formação às pessoas já contratadas ou se é mais benéfico contratar pessoas aptas a realizar o trabalho necessário. É de considerar que o PRH é um processo contínuo e, caso seja bem executado, ajudará a empresa a atingir os seus objetivos.

O PRH tem vindo a ganhar maior relevo na área da indústria, dado que uma eficiente gestão do pessoal influencia o alcance dos objetivos de produção da empresa. O nível de produtividade aumenta à medida que melhora a eficiência na utilização dos recursos, minimizando o desperdício de tempo, dinheiro e esforços. Não pode ser esquecido que não se deve isolar este planeamento do resto da organização, sendo que, segundo Khadka (2009), o PRH tem de estar articulado às restantes estratégias imergentes na organização (referenciado por Samwel, 2018).

Reilly (1999), afirma existirem diversas razões para as organizações se debruçarem sobre o PRH, dividindo essas razões em três grupos: o planeamento por razões substantivas (otimizar os recursos e adquirir e desenvolver capacidades de trabalho, podendo também identificar possíveis problemas), o planeamento para benefício dos processos (estuda o presente para enfrentar o futuro, tomando decisões que poderão vir a ser alteradas posteriormente, mas garantindo sempre que o pensamento a curto prazo não prejudica a visão de longo prazo) e o planeamento por motivos organizacionais (centra-se na comunicação de planos de modo a ganharem relevo na organização, agregando

planos de recursos humanos a planos de negócios para dominação da operação), (referenciado po Armstrong, 2009).

O PRH tem como objetivo fazer uma previsão da necessidade de trabalhadores na organização, tendo em conta a disponibilidade externa de mão-de-obra que alcance os requisitos necessários, fazendo assim um balanço da que é necessária e da que se encontra disponível para contratação (Santos, et al., 2009). Imison et al (2009) afirmam que alcançar o equilíbrio entre a oferta e a procura de mão-de-obra é o principal objetivo no PRH, tentando prever a necessidade de trabalhadores ao mesmo tempo que procura garantir que terá o número de pessoas qualificadas necessárias no período de tempo necessário. Noe (2012) defende que existem outros fatores que afetam a previsão da necessidade de trabalhadores, tais como a limitação de orçamento disponível, as demissões, fins de contratos ou reformas, as transferências internas ou as novas tecnologias na operação (referenciado por Samwel, 2018). Walker (1980) referiu que o PRH tem uma relevante importância na previsão da procura no que toca ao próprio negócio e ao ambiente da organização, contribuindo na gestão da procura de recursos humanos de acordo com as necessidades e as suas condições (referenciado por Samwel, 2018).

Inês Pinto (2019) realizou um trabalho no mesmo âmbito deste mesmo estudo - diz respeito a um relatório de estágio realizado na empresa Science4you. Apresentando também como objetivo a afetação diária dos trabalhadores às várias linhas e ordens de produção, propôs um Modelo de Programação Linear por Metas Hierarquizadas, minimizando os desvios entre os objetivos previstos para a produção e a produção efetiva.

5. METODOLOGIA

Com o propósito de encontrar a dimensão da equipa de trabalhadores mais adequada e estável a afetar ao processo produtivo, mediante um determinado plano de produção semestral propõe-se um procedimento com duas fases. Numa primeira fase determina-se um minorante para esse valor com a ajuda de programação linear. Posteriormente, recorrendo a uma heurística, concretiza-se um plano diário de produção, afetando cada ordem de produção às respetivas linhas e períodos de tempo. Da aplicação da heurística pode resultar um aumento do número de trabalhadores obtido na primeira fase.

Cada uma das secções seguintes tem por objeto uma das fases acima mencionada.

5.1. Modelos de Programação Linear

O Modelo de Programação Linear que se apresenta visa calcular um minorante para o número de trabalhadores a afetar ao processo de produção.

A função objetivo minimiza o tempo produtivo necessário, em minutos, para cumprir as ordens de produção de qualquer dos meses considerado no plano com horizonte fixado, geralmente semestral. O número de trabalhadores a afetar à produção é obtido atendendo ao horário de trabalho e ao número de dias de trabalho por mês.

A notação utilizada no modelo é a seguinte:

L = conjunto das linhas de produção;

S = conjunto de tipos de linhas de produção;

$L_s \subset L$ = conjunto das linhas de produção do tipo s ;

M = conjunto de meses de produção;

P = conjunto das referências;

$P_l \subset P$ = conjunto das referências produzidas na linha l ;

O_p^m = ordem de produção da referência p , em unidades, no mês m ;

C_p = número médio de unidades da referência p produzidas por minuto por trabalhador;

u_p = número de trabalhadores da equipa de produção da referência p ;

e_l = número de estações da linha l .

Considerem-se as variáveis x_p^m a representar o tempo de trabalho, em minutos, na produção da referência $p \in P$ no mês $m \in M$ e K número mínimo de minutos de tempo produtivo necessário num mês para cumprir o plano de produção.

A formulação do problema apresenta-se como:

$$\text{Min } z = K \quad (1)$$

$$\text{s.a. } \sum_{m' \leq m} C_p x_p^{m'} \geq \sum_{m' \leq m} O_p^{m'} \quad p \in P ; m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{l \in L_s} \sum_{p \in P_l} \frac{x_p^m}{u_p} \leq \sum_{l \in L_s} 10560 \times e_l \quad s \in S, m \in M \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} x_p^m \leq K \quad m \in M \quad (4)$$

$$x_p^m \geq 0 \quad p \in P ; m \in M \quad (5)$$

O primeiro conjunto de restrições assegura que o tempo produtivo é suficiente para que a quantidade pedida de cada referência p no mês m seja produzida no mês m ou em mês anterior.

O segundo grupo de restrições garante que a capacidade produtiva em termos de linhas de produção medida em minutos não é excedida. A capacidade produtiva do conjunto de linhas l do tipo s durante um mês é dado pela soma do tempo disponível nas linhas desse tipo. Por sua vez, o tempo disponível na linha l é dado pelo número de estações multiplicado pelo valor 10.560 (correspondente a 8 horas por dia, 22 dias de por mês e 60 minutos por hora). O tempo gasto em linhas do tipo s é contabilizado tendo em conta a dimensão das equipas (u_p) para a produção da referência p , pois há que ter em consideração que há vários trabalhadores a produzir simultaneamente.

O quarto conjunto de restrições é um artifício para determinar, em consonância com a função objetivo, o máximo entre os tempos necessários para os meses considerados no plano, de modo a garantir que o tempo de trabalho em qualquer desses meses é suficiente para a produção que lhe está atribuída.

O número de trabalhadores por mês obtém-se por divisão de K por 9240 (que corresponde ao tempo de trabalho produtivo, em minutos, por trabalhador por mês - 7 horas de trabalho produtivo por dia, 22 dias de trabalho por mês e 60 minutos por hora).

Uma ligeira alteração deste modelo consiste em exigir que as ordens de produção de cada mês devem ser produzidas no próprio mês. Usando esta hipótese o modelo vem apenas alterado no primeiro conjunto de restrições que passam a escrever-se simplesmente:

$$C_p x_p^m \geq O_p^m \quad p \in P ; m \in M \quad (2)$$

Esta alteração, não permitindo utilizar tempos produtivos disponíveis num mês para produção referente a ordens de meses subsequentes, naturalmente conduzirá a um número de trabalhadores eventualmente mais elevado.

Para clarificar a metodologia aplicada, recorre-se a um exemplo.

Considerem-se 3 dias com um total de 15 ordens de produção. Estão disponíveis as linhas 1, 5 e 6, a primeira apenas com uma estação e as restantes com duas, as linhas 5 e 6 apresentam as mesmas características, podendo produzir as mesmas referências. Os dados referentes às ordens de produção discriminam-se na tabela 2. Para cada ordem tem-se o dia em que deve ser produzida, a referência e a quantidade a produzir, a linha em que é planeada a produção, o tempo médio que um trabalhador necessita para produzir uma unidade e, por fim, o número de trabalhadores necessários para a concretizar.

Ordem	Dia	Referência	Quantidade	Linha	Output/minuto/ trabalhador	Dimensão da equipa
1	1	1	1500	1	1,4	10
2	1	2	2000	6	4	5
3	1	3	1000	6	6,67	3
4	1	4	3000	6	6,67	3
5	1	5	3500	5	2	8
6	2	6	3000	1	3	10
7	2	7	1500	6	5	6
8	2	8	3000	5	2	5
9	2	9	1500	6	2,4	5
10	2	10	2000	6	4	3
11	3	5	2000	5	2	8
12	3	11	2500	5	3,33	6
13	3	12	1500	1	2	10
14	3	1	900	1	1,4	10
15	3	6	1500	1	3	10

Tabela 2. Lista de Ordens de Produção - exemplo

Neste exemplo consideramos que um “semestre” corresponde a 3 dias de trabalho e um mês corresponde a um dia, ou seja, $D = (1, 2, 3)$, a disponibilidade de 3 linhas de produção $L = (1, 5, 6)$ e 12 referências para produzir $P = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12)$. Em vez da quantidade de trabalho em minutos por mês pretendemos saber a quantidade de trabalho em minutos por dia, havendo assim que dividir o valor K encontrado por 420 minutos (7×60).

O primeiro conjunto de restrições do modelo (2), inclui para cada um dos dias em que é requisitada a referência 1 a garantia de que a quantidade pedida é produzida atempadamente:

$$1.4 x_1^1 \geq 1500$$

$$1.4 x_1^1 + 1.4 x_1^2 + 1.4 x_1^3 \geq 1500 + 900$$

De modo análogo se escrevem as restrições para cada uma das restantes referências.

O segundo conjunto de restrições (3), inclui para cada tipo de linha e dia uma restrição de capacidade. Em particular, a linha 1 dá lugar às restrições seguintes:

$$\frac{x_1^1}{10} \leq 10560 \times 1$$

$$\frac{x_6^2}{10} \leq 10560 \times 1$$

$$\frac{x_1^3}{10} + \frac{x_6^3}{10} + \frac{x_{12}^3}{10} \leq 10560 \times 1$$

Deste grupo (3) faltam apenas três restrições, pois as linhas 5 e 6 são escritas em conjunto por serem do mesmo tipo.

O terceiro conjunto de restrições (4), neste exemplo será:

$$\sum_{p \in P} x_p^1 \leq K$$

$$\sum_{p \in P} x_p^2 \leq K$$

$$\sum_{p \in P} x_p^3 \leq K$$

Usando o *OpenSolver* obtém-se $K = 3.925$ que são necessários no mínimo 3.925 minutos de trabalho por dia. Dividindo K pelo tempo de trabalho produtivo diário (420 minutos), conclui-se que são necessários no processo produtivo 10 trabalhadores.

Este mesmo exemplo será utilizado também na subsecção seguinte.

5.2. Heurística

Como se referiu, a segunda fase da metodologia consiste numa heurística que mediante as ordens de produção para um dia e um minorante para o número de trabalhadores $n_{trab} = \frac{K}{9240}$ determina um escalonamento de um plano diário das ordens de produção com a afetação de trabalhadores respetiva.

Um plano diário contém o conjunto de n ordens a executar num dia. Como se convencionou, uma ordem é dada por: referência, quantidade e identificação de linha. A quantidade de cada ordem é convertida no respetivo número de trabalhadores necessário e duração. De modo a simplificar, considera-se a duração expressa por um inteiro que representa o número de períodos de 15 minutos. Os dados do exemplo apresentado, podem observar-se na tabela seguinte.

Ordem	Dia	Referência	Linha	Trabalhadores Necessários	Minutos de Trabalho	Nº Períodos (15 minutos)
1	1	1	1	10	1075	72
2	1	2	6	5	500	24
3	1	3	6	3	150	10
4	1	4	6	3	450	30
5	1	5	5	8	1750	117
6	2	6	1	10	1000	67
7	2	7	6	6	300	20
8	2	8	5	5	1500	100
9	2	9	6	5	625	42
10	2	10	6	3	500	34
11	3	5	5	8	1000	67
12	3	11	5	6	750	50
13	3	12	1	10	750	50
14	3	1	1	10	639,28	43
15	3	6	1	10	500	34

Tabela 3. Lista de Ordens de Produção a considerar na Heurística - exemplo

Cada trabalhador tem 7 horas produtivas por dia (28 períodos) devendo ter estabelecidas, para além desse tempo, duas pausas de 15 minutos (um período cada), uma de manhã e uma da parte da tarde, e uma interrupção para almoço de 60 minutos (4 períodos). A pausa da manhã é feita após o trabalhador ter laborado pelo menos 1 hora e 30 minutos (6 períodos), o almoço é após pelo menos 3 horas e 30 minutos de trabalho

(15 períodos) e a pausa da tarde é após pelo menos 5 horas e 30 minutos (26 períodos). Assumiu-se como regra que um trabalhador não pode estar a trabalhar mais de 6 períodos consecutivos, de modo a ter as suas pausas, e, por conseguinte, que cada ordem de produção não pode ter duração superior a 6 períodos. As ordens que não cumpriam essa regra foram repartidas em várias ordens com o máximo de duração definido. Isto é, uma ordem que apresenta uma duração de 10 períodos, subdivide-se em 2 ordens de produção – uma com duração 6 e outra com duração 4. Essa divisão das ordens iniciais em “subordens” já se encontra aplicada na tabela 3 apresentada anteriormente.

A heurística desenvolvida começa por procurar a ordem de produção com maior número de trabalhadores, assegurando-se que a linha respetiva (ou eventualmente outra linha com as mesmas características que essa) ainda tem períodos livres suficientes para a produzir.

Após identificar a ordem a escalonar verifica-se se há períodos livres consecutivos e, havendo, quantos, de modo a perceber se a linha ainda tem disponibilidade para a ordem em questão. Ao encontrar o primeiro conjunto de períodos livres consecutivos que tenham a mesma ou maior duração que a ordem a produzir, são registados os períodos de início (primeiro período livre desse conjunto) e de fim dessa ordem (período de início acrescido da duração da ordem). Caso não sejam encontradas possibilidades de produção na linha respetiva, faz-se a mesma pesquisa para as linhas seguintes que sejam do mesmo tipo. Se não for encontrada nenhuma possibilidade de produção em todas as linhas do mesmo tipo, essa ordem não será escalonada nesse dia por falta de capacidade e ficará para acrescentar às ordens de produção do dia seguinte passando-se de imediato à identificação da ordem seguinte a escalonar.

Sabendo a ordem e o instante em que pode ser produzida, é calculado o número de trabalhadores disponíveis entre o período de início e de fim dessa ordem de produção. Como primeira hipótese, caso o número de trabalhadores disponíveis seja igual ou superior ao número de trabalhadores necessários para produzir a ordem que se pretende escalonar, a ordem é colocada nesse período de tempo. Como segunda hipótese, caso o número de trabalhadores disponíveis não seja suficiente, observa-se se os instantes seguintes ao previsto estão disponíveis os trabalhadores necessários e, se assim for, coloca-se nesse período. Caso não encontre o número de trabalhadores precisos, acresce-

-se esse número de trabalhadores. Note-se que para o resto do processo de escalonamento são considerados todos os trabalhadores até aí afetos à produção, incluindo os novos.

A heurística termina quando todas as ordens de produção tiverem sido analisadas.

Um escalonamento é feito marcando, nos períodos mencionados (do início ao fim), a linha respetiva como ocupada e identificando a ordem em questão, juntamente com a marcação dos trabalhadores afetos a essa produção também como ocupados nesse período de tempo e também identificando a ordem. O tempo livre de cada linha é igualmente atualizado.

À medida que as ordens vão sendo escalonadas, contabiliza-se os períodos que cada trabalhador já se encontra afeto à produção. Caso o trabalhador já tenha trabalhado pelo menos 6 períodos regista-se a sua pausa da manhã (pausa1), caso tenha sido pelo menos 14 períodos a sua pausa de almoço e caso sejam pelo menos 26 a pausa da tarde (pausa2).

Assim, como resultado final desta heurística, tem-se a informação para cada trabalhador de qual a ordem que irá estar a produzir em cada período. Sabe-se também para cada um dos períodos quais as linhas que estarão ocupadas e quais as ordens em produção.

De seguida detalha-se o algoritmo proposto.

Input:

ntrab // número de trabalhadores dados pelo Modelo de Programação Linear

nperi // número de períodos de 15 minutos de trabalho diário

nlinh // número de linhas onde são produzidas as ordens

n // número de ordens de produção a escalonar

ORD // lista de *ordem*

Cada *ordem* contém

ordem.durac // duração da *ordem*, em número de períodos de 15 minutos

ordem.linha // linha em que deve ser efetuada a *ordem*

ordem.traba // número de trabalhadores necessários para executar a *ordem*

Output:

ntrabfim // número de trabalhadores utilizados no escalonamento

TRAB(i)(j) // para conter a ocupação no período *i* do trabalhador *j*

OLIN(i)(j) // para conter a ocupação no período *i* da linha *j*

Inicialização e leitura

$nescal = 0$ // número de ordens já escalonadas

$notescal = 0$ // número de ordens não escalonadas, por falta de tempo de linha

$ntrabfim = ntrab$

Para $i = 1$ até n

$ORD(i).escal = FALSE$ // indicando que a ordem i não está escalonada

$ORD(i).vista = FALSE$ // indicando que a ordem i não está vista

Próximo i

Para $i = 1$ até $nlinh$

$lin(i) = nperi$ // indicando que a linha i tem no início todos os períodos livres

Próximo i

Para $i = 1$ até $ntrab$

$almoço(i) = FALSE$ // o almoço do trabalhador i não está escalonado

$pausa1(i) = FALSE$ // a pausa1 do trabalhador i não está escalonada

$pausa2(i) = FALSE$ // a pausa2 do trabalhador i não está escalonada

Próximo i

Para $i = 1$ até $nperi$

Para $j = 1$ até $ntrab$

$NTRAB(i)(j) = 0$ // indicando que no período i o trabalhador j está livre

Próximo j

Próximo i

Para $i = 1$ até $nperi$

Para $j = 1$ até $nlinh$

$OLIN(i)(j) = 0$ // indicando que no período i a linha j está livre

Próximo j

Próximo i

Iteração

Enquanto $nescal + notescal \neq n$ // termina quando todas as ordem estiverem escalonadas, à exceção das ordens impossibilitadas pela falta de capacidade da linha

Passo 1. Determinar a ordem a escalonar id

$y = 0$

Para $i = 1$ até n

Se $y < ORD(i).Traba$ e $ORD(i).vista = False$ **então**

$y = ORD(i).Traba$

$id = i$

Fim Se

Próximo i

Passo 2. Determinar a linha l para escalonar id entre inicio e fim

Enquanto $inici = 0$

$l = ORD(id).linha$

Para $i = 1$ até $nperi - ORD(id).durac$

Se $OLIN(i)(l) = 0$ **então**

$inici = i$ // ordem id começará a ser produzida no período i

$fim = inici + ORD(id).durac - 1$

Fim se

Próximo i

Se $inici = 0$ **então**

$l =$ próxima l_s (sendo s o conjunto de S a que pertence a linha $ORD(id).linha$, caso não haja mais linhas disponíveis adia-se ordem e volta-se ao **Passo 1**)

Fim se

Fim enquanto

Passo 3. Determinar os trabalhadores T_{id} disponíveis entre $inici$ e fim

Se $inici = 0$ **então** // não encontrou períodos livres na linha l , logo fica como atrasada

$ORD(id).vista = True$

$notescal = notescal + 1$ // ordem não escalonada por falta de tempo de linha

Senão // há períodos livres para escalonar a ordem id na linha l

Para $i = 1$ até $ntrab$

Para $j = inici$ até fim

Se $NTRAB(j)(i) = 0$ **então** // trabalhador i está livre no período j

$y = y + 1$

Fim se

Próximo j

Se $y = ORD(id).durac$ **então** // trabalhador i livre entre $inici$ e fim

$T = T + 1$

Fim se

Próximo i

Se $T < ORD(id).traba$ **então** // caso não haja trabalhadores livres suficientes, aumenta-se e define-se o seu conjunto de variáveis respetivo

$ntrabfim = ntrab + ORD(id).traba - T$

Para $i = 1$ até $nperi$

Para $j = 1$ até $ntrabfim$

$NTRAB(i)(j) = 0$

Próximo j

Próximo i

Para $i = 1$ até $ntrab$

$almoco(i) = FALSE$

$pausa1(i) = FALSE$

$pausa2(i) = FALSE$

Próximo i

Fim se

Passo 4. Escalonar a ordem id na linha l entre $inici$ e fim e trabalhadores T_{id}

Para $i = inici$ até fim

$OLIN(i)(l) = id$ // identifica linha l como ocupada no período i

Próximo i

Para $i = 1$ até $ntrabfim$

Para $j = inici$ até fim

Se $z \leq ORD(id).traba * ORD(id).durac$ e $NTRAB(j)(i) = 0$ então

$NTRAB(i)(j) = id$ // identifica trabalhador i como ocupado em j

$z = z + 1$

Fim se

Próximo j

Próximo i

$ORD(id).escal = TRUE$

$nescal = nescal + 1$

Fim se

Passo 6. Registrar pausas

Para $i = 1$ até $ntrabfim$

$y =$ número de períodos em que o trabalhador i está ocupado

Se $y \geq 6$ e $TRAB(i).pausa1 = FALSE$ então

$NTRAB(i)(j) = n + 1$, com $j =$ primeiro período livre encontrado

$TRAB(i).pausa1 = TRUE$

Fim se

Se $y \geq 14$ e $TRAB(i).almoco = FALSE$ então

Para $k = j$ até $j + 4$, com $j =$ primeiro período livre encontrado

$NTRAB(i)(k) = n + 2$

$TRAB(i).pausa1 = TRUE$

Próximo j

Fim se

Se $y \geq 26$ e $TRAB(i).pausa2 = FALSE$ então

$NTRAB(i)(j) = n + 3$, com $j =$ primeiro período livre encontrado

$TRAB(i).pausa1 = TRUE$

Fim se

Próximo i

Fim enquanto

As ordens que após correr a heurística permanecem por escalonar ($ORD(id).escal = FALSE$) mas estão vistas ($ORD(id).vista = TRUE$), ficarão para escalonar no dia seguinte.

Usando o VBA obtêm-se duas tabelas de resultados, estando esses dados representados nas tabelas 4 e 5.

A tabela 4 diz respeito ao escalonamento das ordens de produção por período de tempo, para cada uma das linhas de produção. Isto é, tem-se a informação de quais as ordens a serem produzidas em cada uma das linhas nesse mesmo dia e qual o respectivo período de tempo em que vai ser produzida. Por exemplo, a ordem 7 vai ser produzida no dia em questão, sendo a sua produção iniciada no período 13 e, tendo duração de 6 períodos, termina após o período 18.

Na tabela 5 está representado o escalonamento das ordens de produção por período de tempo, para cada um dos trabalhadores afetos à produção. Isto é, sabe-se quais as ordens de produção que cada um dos trabalhadores vai produzir nesse mesmo dia e qual o respectivo período de tempo em que essa produção vai decorrer. Tomando como exemplo novamente a ordem 7, tal como referenciado na tabela 4, é produzida entre os períodos 13 e 18, e tem afetos a ela os trabalhadores identificados com os números do 1 ao 10, embora na tabela apresentada apenas seja possível ver a afetação dos primeiros 5 trabalhadores devido à grandeza da mesma.

Analisando os resultados é possível perceber que são necessários mais trabalhadores do que o número previsto pelo modelo, sendo que segundo o Modelo de Programação Linear aplicado anteriormente eram necessários 10 trabalhadores afetos à produção e, de acordo com a Heurística aqui aplicada haverá a necessidade de afetar 44 trabalhadores ao processo produtivo. Este elevado aumento do número de trabalhadores já era esperado.

Períodos (15min)	Linhas			
	1	2	5	6
1	1	10	5	24
2	1	10	5	24
3	1	10	5	24
4	1	10	20	24
5	1	10	20	24
6	1	10	20	24
7	6	13	20	0
8	6	13	20	3
9	6	13	20	3
10	6	13	0	3
11	6	13	0	3
12	6	13	0	21
13	7	11	18	21
14	7	11	18	21
15	7	11	18	21
16	7	11	18	21
17	7	11	18	22
18	7	11	18	22
19	8	0	0	22
20	8	0	0	22
21	8	0	0	22
22	8	0	0	22
23	8	12	19	23
24	8	12	19	23
25	9	12	19	23
26	9	12	19	23
27	9	12	19	23
28	9	12	19	23
29	9	0	0	2
30	9	0	0	2
31	0	0	0	2
32	0	0	0	2
33	0	0	0	2
34	0	0	0	0

Tabela 4. Escalonamento da produção pelas diversas linhas - exemplo

Períodos	Trabalhadores										
	1	2	3	4	5	...	40	41	42	43	44
1	1	1	1	1	1		33	33	33	33	33
2	1	1	1	1	1		33	33	33	33	33
3	1	1	1	1	1		33	33	33	33	33
4	1	1	1	1	1		33	33	33	33	33
5	1	1	1	1	1		33	33	33	33	33
6	1	1	1	1	1		33	33	33	33	33
7	46	46	46	46	46		46	46	46	46	46
8	2	2	2	2	2		0	0	0	0	0
9	2	2	2	2	2		0	0	0	0	0
10	2	2	2	2	2		0	0	0	0	0
11	2	2	2	2	2		0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
13	7	7	7	7	7		0	0	0	0	0
14	7	7	7	7	7		0	0	0	0	0
15	7	7	7	7	7		0	0	0	0	0
16	7	7	7	7	7		0	0	0	0	0
17	7	7	7	7	7		0	0	0	0	0
18	7	7	7	7	7		0	0	0	0	0
19	8	8	8	8	8		0	0	0	0	0
20	8	8	8	8	8		0	0	0	0	0
21	8	8	8	8	8		0	0	0	0	0
22	8	8	8	8	8		0	0	0	0	0
23	8	8	8	8	8		0	0	0	0	0
24	8	8	8	8	8		0	0	0	0	0
25	9	9	9	9	9		0	0	0	0	0
26	9	9	9	9	9		0	0	0	0	0
27	9	9	9	9	9		0	0	0	0	0
28	9	9	9	9	9		0	0	0	0	0
29	9	9	9	9	9		0	0	0	0	0
30	9	9	9	9	9		0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0

Tabela 5. Escalonamento da produção pelos diversos trabalhadores (incompleto) - exemplo

6. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a resolução do Modelo de Programação Linear pelo *SolverExcel* e pela Heurística programada em *VBA*. Para esta análise foram utilizados os dados das ordens de produção do primeiro semestre do ano de 2018, disponibilizados pela empresa.

Aqui serão apresentadas duas versões de aplicação do modelo proposto, cada uma com duas hipóteses de cálculo. Primeiro o modelo com flexibilidade de produção até ao mês da ordem de produção, como apresentado no ponto 5.1. Em segundo, usa-se a versão do modelo, também sugerida no ponto 5.1, onde cada ordem de produção respeita o mês previsto para a sua produção.

6.1. Modelo com flexibilidade de produção entre meses

Aqui serão apresentados os resultados do Modelo de Programação Linear que tem em conta a flexibilidade do mês em que são produzidas as referências, isto é, podem ser produzidas até ao mês da respetiva ordem de produção, inclusive.

No que diz respeito às linhas, e tal como já foi referido, há a possibilidade de não produzir dada referência na linha referida inscrita na ordem de produção, caso essa linha já não tenha espaço para a receber e houver outra linha do mesmo tipo disponível.

Os resultados obtidos com o modelo que permite tanto a flexibilidade da produção entre os vários meses como a flexibilidade da linha em que cada referência vai ser produzida são apresentados na tabela 6.

Mês	1	2	3	4	5	6	F.O.
Minutos / mês	394388,9	394388,9	394388,9	394388,9	394388,9	394388,9	394388,9
Minutos / dia	17926,77	17926,77	17926,77	17926,77	17926,77	17926,77	
Homens / dia	42,68	42,68	42,68	42,68	42,68	42,68	

Tabela 6. Resultados do Modelo com flexibilidade de produção entre meses

Analisando, vemos que o mínimo de minutos de trabalho produtivo em cada um dos meses é cerca de 394.389 minutos, ou seja, se trabalharem menos do que estes minutos mensais não irão conseguir satisfazer as necessidades da produção. Estes minutos de trabalho mensal correspondem aproximadamente a 17.927 minutos de trabalho produtivo

diário, durante os 22 dias de cada mês. Usando o Modelo, verificamos que são necessários 43 trabalhadores durante estes seis meses para garantirem a produção.

Os vários meses em estudo apresentam os mesmos valores, sendo que a produção planeada para cada um deles é bastante inconstante e, por isso, é repartida pelos vários meses de modo a aproximar o tempo de trabalho mensal. Isto é, tendo em conta que o objetivo do modelo é encontrar o minorante do tempo de produção que possibilita cumprir todas as ordens de produção (sendo esse valor o maior tempo de produção dos seis meses em consideração), o modelo distribui de igual forma a produção pelos diversos meses.

Caso não se considere a flexibilidade entre linhas, os resultados mantêm-se iguais. A diferença registada com essa restrição será apenas ao nível de em que linha será produzida a ordem em questão, mantendo o mesmo tempo de trabalho necessário mensalmente e, por conseguinte, o mesmo número de trabalhadores afetos à produção. Isto acontece porque neste caso (não flexível quanto à linha) o tempo de trabalho mensal por linha não excede o seu limite. No modelo sem essa flexibilidade, quando o tempo de produção excede o permitido nessa respetiva linha, tem em conta a flexibilidade dos meses e essa produção é transitada para um dos meses anteriores. Enquanto no modelo com flexibilidade de linha, apenas transita para um dos meses anteriores se o tempo de produção ultrapassar o permitido para esse conjunto de linhas.

6.2. Modelo sem flexibilidade de produção entre meses

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados da aplicação do Modelo de Programação Linear sem flexibilidade do mês em que são produzidas as referências, tendo cada referência de ser produzida no mês mencionado na respetiva ordem de produção.

Tal como foi referido anteriormente, existem duas vertentes de aplicação deste modelo. Primeiramente, será considerada a flexibilidade da produção entre linhas e, posteriormente, considerar-se-á que não existe essa flexibilidade.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo que tem em conta a flexibilidade da linha constam na tabela 7.

Mês	1	2	3	4	5	6	F.O.
Minutos / mês	309589,9	368077,4	325181,4	329675,5	488555,4	545253,7	545253,7
Minutos / dia	14072,27	16730,79	14780,97	14985,25	22207,06	24784,26	
Homens / dia	33,51	39,84	35,19	35,68	52,87	59,01	

Tabela 7. Resultados do Modelo sem flexibilidade de produção entre meses

Examinando estes resultados, observa-se que são necessários no mínimo 545.254 minutos de trabalho produtivo para cumprir todas as ordens de produção. Esse tempo de trabalho mensal corresponde aproximadamente a 24.784 minutos de trabalho produtivo diário, a decorrer durante os 22 dias de cada mês. Verifica-se também que são necessários pelo menos 60 trabalhadores por dia para se garantir a produção necessária, embora em alguns meses nem sempre terão trabalho para preencher as 7 horas diárias.

Considerando os vários meses incluídos no modelo, em separado, os valores respectivos já não se mostraram iguais ao longo do tempo porque não existe flexibilidade de produção entre os vários meses em estudo, sendo necessários mais ou menos trabalhadores em cada mês dependendo da quantidade de referências a produzir nesses mesmos meses.

Em relação ao modelo que restringe a produção de cada referência a uma só linha, a sua aplicação não encontrou uma solução admissível. O que aconteceu devido ao excesso de produção num dado mês, isto é, o planeamento feito para os seis meses utilizados no estudo do problema apresentava ordens de produção que não eram possíveis de cumprir por falta de capacidade da linha nesse mesmo mês. Assim, verificou-se uma saturação da restrição do tempo de produção disponível para trabalhar em cada linha de produção, mais concretamente na linha de produção PF01 no mês dois, excedendo cerca de 150 minutos do tempo laboral mensal disponível.

6.3. Resultados da heurística

Neste subcapítulo são apresentados os resultados da aplicação da heurística. Os dados utilizados nesta secção foram os dados obtidos do Modelo de Programação Linear com flexibilidade de produção entre os meses e entre as linhas.

Os dados utilizados na heurística aplicada em VBA dizem respeito ao primeiro dia de trabalho do ano de 2018 (2 de janeiro de 2018), os quais estão disponíveis em Anexo, embora a tabela do escalonamento da produção pelos trabalhadores não esteja completa devido à sua extensão.

Tal como se suspeitou, o número de trabalhadores calculado com o modelo de programação linear não foi suficiente para escalonar todas as ordens pedidas para esse dia. O número final de trabalhadores necessários a afetar ao processo produtivo para satisfazer a procura é 97.

Ficaram por escalonar 7 ordens de produção, que divididas em períodos de 15 minutos dizem respeito a 86 ordens, as quais serão escalonadas no dia seguinte de produção.

7. CONCLUSÃO

Com a elaboração deste trabalho, foi possível identificar as necessidades da Science4you, no que diz respeito à determinação do número mínimo de trabalhadores necessários no processo produtivo, bem como à afetação desses a cada uma das linhas e ordem a produzir. A metodologia desenvolvida poderá vir a ser utilizada pela empresa para apoio ao Planejamento de Recursos Humanos. Este estudo adequa-se igualmente a qualquer outra empresa que se encontre na mesma situação e que apresente semelhanças no seu processo produtivo, de modo a adaptar a formulação aqui proposta ao seu caso real.

Embora tenham sido alcançados os objetivos do trabalho proposto, existem ainda possíveis melhorias. Um desses aperfeiçoamentos diz respeito à criação de uma ferramenta que permita simplificar o planejamento, automatizando-os. Nos processos de cálculo seria interessante desenvolver uma heurística melhorativa para diminuir o número de trabalhadores necessários, realizando alterações no escalonamento obtido. Outra questão a estudar será a construção de uma ligação entre os vários dias de produção, com o objetivo de ter um escalonamento encadeado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anyim, F. C., Mba, S. E., & Ekwoaba, J. O. (2012). The Imperative of Integrating Corporate Business Plan with Manpower Planning. *International Journal of Business and Management*, 7(8), 56-62.
- Armstrong, M. (2009). *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice*. London: Kogan Page.
- Chiavenato, I. (2003). *Introdução à Teoria Geral da Administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações (7º ed.)*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora.
- Imison, C., Buchan, J., & Xavier, S. (2009). NHS Workforce Planning. Limitations and Possibilities. London: The King's Fund.
- Pinto, I. S. (2019). *Otimização Multiobjetivo para o Dimensionamento das Linhas de Produção na Science4you*. Relatório de Estágio (Mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial) - Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa.
- Pradeesh, N. (2011). Human Resource Planning and Development: Study material VI Semester. University of Calicut, School of Distance Learning.
- Samwel, J. O. (2018). Human Resource Planning as an Important Practice to Anticipate Future Human Resource Requirements of the Organization – Literature review. *International Journal of Research in Business Studies and Management*, 5(3), 24-30.
- Santos, A., Zhang, A., Gonzalez, M., & Byde, A. (2009). Workforce Planning and Scheduling for the HP IT Services Business. Dublin, Ireland: Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Application.

ANEXOS

Linhas	Períodos													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	3	50	0	23	0	11	0	0	7	0	0	172	0	118
2	3	50	0	167	0	11	0	0	14	0	0	172	0	118
3	3	50	0	167	0	11	0	0	20	0	0	172	0	118
4	3	50	0	167	0	12	0	0	20	0	0	172	0	118
5	3	50	0	167	0	12	0	0	0	0	0	172	0	118
6	46	50	0	167	0	0	0	0	0	0	0	172	0	118
7	46	0	0	167	0	0	0	0	0	0	0	173	0	120
8	46	51	0	170	0	0	0	0	0	0	0	173	0	120
9	46	51	0	170	0	18	0	0	0	0	0	173	0	120
10	46	51	0	170	0	18	0	0	0	0	0	173	0	120
11	46	51	0	170	0	19	0	0	0	0	0	173	0	120
12	47	51	0	170	0	19	0	0	0	0	0	173	0	120
13	47	51	0	170	0	19	0	0	0	0	0	174	0	0
14	47	53	0	0	0	22	0	0	10	0	0	174	0	0
15	47	53	0	0	0	22	0	0	10	0	0	174	0	0
16	47	53	0	0	0	22	0	0	10	0	0	174	0	0
17	47	53	0	0	0	21	0	0	10	0	0	174	0	0
18	48	53	0	0	0	0	0	0	10	0	0	174	0	0
19	48	53	0	0	0	0	0	0	10	0	0	175	0	0
20	48	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0
21	48	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0
22	48	0	0	171	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0
23	48	0	0	171	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0
24	49	52	0	171	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0
25	49	52	0	171	0	0	0	0	0	0	0	176	0	119
26	49	52	0	171	0	0	0	0	0	0	0	176	0	119
27	49	52	0	171	0	0	0	0	0	0	0	176	0	119
28	49	52	0	169	0	0	0	0	81	0	0	176	0	119
29	49	52	0	169	0	0	0	0	81	0	0	176	0	119
30	2	0	0	169	0	0	0	0	81	0	0	176	0	119
31	2	0	0	169	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0
32	2	0	0	169	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0
33	0	0	0	169	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 8. Resultado do escalonamento das Ordens de Produção pelas diversas linhas – parte 1

Linhas	Períodos													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	0	0	0	0	82	87	92	97	102	107	112	117	125	130
2	0	0	0	0	82	87	92	97	102	107	112	117	125	130
3	0	0	0	0	82	87	92	97	102	107	112	117	125	130
4	0	0	0	0	82	87	92	97	102	107	112	117	125	130
5	0	0	0	0	82	87	92	97	102	107	112	117	125	130
6	0	0	0	0	82	87	92	97	102	107	112	117	125	130
7	0	0	0	0	84	89	94	99	104	109	114	122	127	132
8	0	0	0	0	84	89	94	99	104	109	114	122	127	132
9	0	0	0	0	84	89	94	99	104	109	114	122	127	132
10	0	0	0	0	84	89	94	99	104	109	114	122	127	132
11	0	0	0	0	84	89	94	99	104	109	114	122	127	132
12	0	0	0	0	84	89	94	99	104	109	114	122	127	132
13	0	0	0	0	85	90	95	100	105	110	115	123	128	133
14	0	0	0	0	85	90	95	100	105	110	115	123	128	133
15	0	0	0	0	85	90	95	100	105	110	115	123	128	133
16	0	0	0	0	85	90	95	100	105	110	115	123	128	133
17	0	0	0	0	85	90	95	100	105	110	115	123	128	133
18	0	0	0	0	85	90	95	100	105	110	115	123	128	133
19	0	0	0	0	86	91	96	101	106	111	116	124	129	134
20	0	0	0	0	86	91	96	101	106	111	116	124	129	134
21	0	0	0	0	86	91	96	101	106	111	116	124	129	134
22	0	0	0	0	86	91	96	101	106	111	116	124	129	134
23	0	0	0	0	86	91	96	101	106	111	116	124	129	134
24	0	0	0	0	86	91	96	101	106	111	116	124	129	134
25	0	0	0	0	0	88	93	98	103	108	113	121	126	131
26	0	0	0	0	0	88	93	98	103	108	113	121	126	131
27	0	0	0	0	0	88	93	98	103	108	113	121	126	131
28	0	0	0	0	83	88	93	98	103	108	113	121	126	131
29	0	0	0	0	83	88	93	98	103	108	113	121	126	131
30	0	0	0	0	83	88	93	98	103	108	113	121	126	131
31	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 9. Resultado do escalonamento das Ordens de Produção pelas diversas linhas – parte 2

Trabalhadores	Períodos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
7	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
8	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
9	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
10	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
11	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
12	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
13	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
14	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
15	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
16	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
17	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
18	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183
19	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183
20	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183
21	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
25	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
26	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
27	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
28	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
29	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
30	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 10. Resultado do escalonamento das Ordens de Produção pelos diversos trabalhadores