PROJETO DE GRADUAÇÃO

Implementação de um modelo de otimização de recursos em um sistema de distribuição logística

Por,
Vítor Augusto Leivas Craveiro

Brasília, 2015

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASILIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

Implementação de um modelo de otimização de recursos em um sistema de distribuição logística

POR,

Vítor Augusto Leivas Craveiro

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora

Prof. Reinaldo Crispiniano Garcia, UnB/ EPR
(Orientador) ____

Prof. Clóvis Neumann, UnB/EPR ____

Brasília, 2015

Dedicatória

Dedico esse trabalho a todos meus familiares e amigos, em especial ao meu pai, Antonio Augusto Craveiro, minha mãe Carla Leivas Craveiro e minha irmã Giovana Leivas Craveiro

Vítor Augusto Leivas Craveiro

Agradecimentos

Agradeço em especial ao meu orientador de projeto de graduação Reinaldo Crispiniano Garcia pela atenção e tempo dedicado a me auxiliar no projeto e a todos que de alguma forma torceram para que isso se concretizasse. Além disso, agradeço em especial aos britânicos Dean Beresford e Daniel Partington, servidores da empresa estudada, pelo apoio, suporte e toda a atenção prestada.

Vítor Augusto Leivas Craveiro

RESUMO

O setor industrial se destaca pela sua complexidade e por ser um mercado bem desenvolvido no mundo. Diante dos desafios enfrentados pela indústria, independentemente do ramo de atuação, nota-se o desenvolvimento de técnicas de planejamento da operacionalização da produção e do lançamento de novos produtos com o intuito de atender clientes cada vez mais exigentes da forma mais econômica possível. Neste contexto, destaca-se a empresa em estudo, que está situada na Inglaterra, presente em todo o Reino Unido há mais de 100 anos, prestando serviços e comercializando produtos de concreto e pavimentação doméstica e industrial. O presente projeto busca aplicar metodologias da área de pesquisa operacional a fim de implementar um modelo de otimização de recursos em um sistema de distribuição logística. Visando a minimização dos custos totais de operação, o trabalho calcula a otimização por meio de programação linear, multiproduto e multiperíodo pela aplicação do Método Simplex no Microsoft Office Excel Solver®, alcançando uma economia potencial de £198.988,20 anuais.

Palavras Chave: *Otimização, Programação Linear, Método Simplex, Sistema de produção, Multiproduto, Multiperíodo, Minimização*

ABSTRACT

The industry sector stands out for its complexity and development. In order to offer a cost-effective service to please highly demanding customers, and regardless of challenges, the industry keeps releasing new products and has developed strategies on products operationalization. The British company highlighted in this study has been in the market for over 100 years. It does acts in all United Kingdom and deals with landscaping, paving and concrete. In the present study, the methodology of the operational research area has been applied in order to implement a model of resource optimization in a manufacturing system. The goal is to minimize total costs of the operation by using linear programming, multiproduct and multiperiod through Microsoft Office Excel Solver®

Keywords: *Optimisation, Linear Programming, Simplex Method, Production Systems, Multiproduct, Multiperiod, Minimization*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE EQUAÇÕES

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o tema da pesquisa e contextualiza a situação problema do assunto proposto e sua justificativa. Além disso, são apresentados os objetivos, a metodologia a ser aplicada e a estrutura do projeto.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Atualmente as empresas e pessoas estão inseridas em um contexto onde constantemente realizam direta ou indiretamente atividades logísticas. Movimentar coisas de um lugar para outro e se locomover estão, de alguma forma, ligadas a algum tipo de atividade logística. Portanto, existem fluxos de pessoas, produtos, informações e bens materiais que podem ocorrer de várias maneiras diferentes e serem transportados por diversos caminhos distintos. Todas as opções envolvem um custo, podendo este ser maior ou menor de acordo com as circunstâncias apresentadas. Para isso, existem ferramentas e métodos logísticos e matemáticos para planejar, controlar, otimizar, tornar possível e baratear as possibilidades de transporte existentes.

Essa é a essência do conceito de logística que pode ser considerada como uma parte do gerenciamento da cadeia de suprimentos responsável por planejar, implementar e controlar fluxos eficientes de bens e informações entre os pontos de origem e de consumo de forma a atender aos requerimentos do consumidor (Conselho de Profissionais de Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Council of Supply Chain Management Professionals - http://cscmp.org/). Diante disso, existem vários métodos e ferramentas que são estudadas e aplicadas para solucionar problemas operacionais de empresas de forma otimizada.

A pesquisa operacional é um método científico de tomada de decisões que consiste na descrição de um sistema organizado através da modelagem da situação, e na experimentação com o modelo, de modo a descobrir a melhor maneira de operá-lo. O problema do transporte é uma das situações comumente modeladas pelos métodos da pesquisa operacional.

O problema do transporte consiste em uma situação onde busca-se transportar produtos de várias origens onde são estocados/produzidos para vários destinos onde são demandados. Dito isso, o problema do transporte toma como variáveis os custos unitários de transporte de cada origem para cada destino (Cij – custo de transporte da origem i ao destino j). Como resultado, o algoritmo define quantas unidades serão transportadas/produzidas de cada origem para cada destino (Xij – quantidade transportada da origem i para o destino j). O objetivo desse tipo de problema é atender às demandas, realizando todas as transferências dos produtos com o menor custo possível.

Empresas que se deparam com esse tipo de situação buscam constantemente solucioná-la a partir de uma resposta otimizada. A resposta pode ser obtida a partir de simulações, experiências práticas e até mesmo utilização de testes pilotos para se chegar ao resultado otimizado. Para isso, as organizações utilizam-se de metodologias, técnicas e ferramentas, como as citadas acima para otimizar suas grades de distribuição logística visando a minimização do custo total inferido.

Brett Landscaping é uma das empresas manufatureiras de concreto e pavimentos líderes de mercado doméstico e comercial. A companhia produz e distribui uma larga lista de SKU`s (*stock keeping units*) do Reino Unido.

A empresa é composta por cinco escritórios e sites de manufatura espalhados pelo Reino Unido. Diante disso, a sua cadeia de suprimentos é extremamente complexa uma vez que está submetida às restrições de produção de cada uma das fábricas, demandas dos clientes, estocagem máxima e custos envolvidos. Visto isso, a empresa apresenta custos consideráveis oriundos de suas atividades de distribuição, incluindo custos de transporte e de manufatura.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa determinar uma produção e distribuição otimizada buscando o custo mínimo de operação.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar cenários de distribuição logística que visem minimizar o custo operacional por meio da utilização de pesquisa operacional.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e explorar metodologia de pesquisa operacional para otimização e minimização de custos;
- Desenvolver ferramenta para resolução do problema do transbordo;
- Expandir a ferramenta para outras funcionalidades (multiproduto e multiperíodo).

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, onde são analisados cenários de distribuição de uma empresa sujeito a suas restrições, demandas e custos envolvidos. A ferramenta foi desenvolvida a partir da utilização da função Solver do Microsoft Excel 2013. Pode-se dizer que o algoritmo do solver é utilizado para resolver problemas a partir de análises hipotéticas. A principal finalidade do software no presente trabalho foi para resolver problemas de Programação Linear, onde as células de decisão irão ser definidas em busca do menor valor possível de operacionalização.

A empresa estudada enviou todos os dados do contexto atual, incluindo capacidade produtiva, demanda e localização dos clientes, custos de produção, custos de distribuição, entre outros. O problema foi resolvido abordando metodologias de otimização para um cenário com apenas 1 (um) produto comercializado, um cenário multiperíodo e um cenário multiproduto.

REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo discorre sobre as metodologias pesquisadas para a resolução do problema, suas especificidades e características de uso, tendo como foco a otimização operacional.

1.4 PESQUISA OPERACIONAL

A busca constante por maiores fatias do mercado consumidor e os desafios enfrentados pare reduzir custos operacionais, aumentar a receita das empresas e a qualidade dos serviços prestados e produtos ofertados, faz com que as organizações procurem modelos matemáticos e ferramentas de tomada de decisão para melhorar seus resultados.

A pesquisa operacional surgiu durante a Segunda Guerra Mundial e foi resultante de estudos realizados por equipes interdisciplinares de cientistas contratados para resolver problemas militares de ordem estratégica e tática. O processo de pesquisa operacional consiste em compreender e formular o problema, modelar o sistema contextual e a partir do modelo, calcular a solução.

1.5 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Uma das maneiras mais utilizadas na área de pesquisa operacional é a modelagem em programação linear, devido não somente à sua simplicidade, mas também à possibilidade de programar suas especificidades em um computador, facilitando assim, a sua aplicação. Existem inúmeras aplicações, desde linhas de produção, controles e monitoramento, finanças, sistemas estruturados, transporte, infraestrutura, etc.

Segundo Loesch e Hein (2011), a programação linear consiste na resolução de problemas de maximização (como lucro) ou minimização (como custo) de algum objetivo, atendendo a certas restrições. A resposta do problema é dada a partir das variáveis de decisão (variáveis controláveis), que serão definidas após os cálculos.

Nesse tipo de programação, é utilizado o método da modelagem, onde um modelo matemático é construído a fim de representar a essência de algum problema. Ainda de acordo com os autores, na modelagem de programação linear, devem ser estabelecidos:

(i). As variáveis do problema (controlável e que se deseja saber exatamente o valor) (ii). A função objetivo (onde se procura maximizar ou minimizar determinado objetivo, expresso em função das variáveis do problema)

(iii). As restrições (limitantes das combinações das variáveis)

As variáveis de decisão são os fatores envolvidos na situação em questão, que fazem parte da função objetivo e fornecem informações para a análise. Tais informações são reproduzidas em forma de valores quantificáveis e são encontradas na resolução do modelo (Konagano et al, 2011). As variáveis somente se tornam relevantes no momento em que estão levando em consideração os limites a que estão submetidas (quantidade, capacidade produtiva e demanda, por exemplo) aos quais a "empresa" possui em relação às suas atividades de negócio.

As restrições, por sua vez, são expressões ou equações que representam as limitações nos valores que podem ser atribuídos às variáveis de decisão (Hillier e Gerald, 2010). Já a equação principal do modelo é a função objetivo, que envolve as variáveis identificadas, além de representar a situação sob uma perspectiva geral. Como dito anteriormente, esta função deve, em geral, maximizar o lucro ou minimizar o custo ou perdas dentro do problema em questão (Corrar, 2008).

Geralmente, a pesquisa operacional é muito útil quando se procura estabelecer quais as maneiras mais eficientes de utilizar os recursos para realizar alguma atividade, pois, em sua grande maioria, os recursos são limitados, o que torna a seleção em um processo criterioso de possibilidades de melhorias. Porém, existem algumas limitações.

Em situações reais dos modelos, o número considerável de variáveis e restrições inviabiliza uma resolução manual. Além disso, a programação linear requer algumas premissas. Os modelos de Programação Linear constituem-se em um tipo especial e específico de modelo de otimização (Goldbarg e Luna, 2005), onde algumas características devem ser observadas:

(i). Proporcionalidade: quantidade de recursos a serem utilizados por certa atividade deve ser proporcional ao nível desta atividade na solução final a ser obtida no problema;

(ii). Não Negatividade: as atividades deverão ser realizadas em níveis não negativos e qualquer proporção de um recurso pode ser utilizada;

(iii). Aditividade: o custo total é a soma das parcelas relativas a cada uma das atividades;

(iv). Separabilidade: quando desejado, deve ser possível a análise apartada do custo, ou consumo de recursos, específicos das operações de cada uma das atividades envolvidas na situação problema.

Em outras palavras, a linearidade caracteriza-se por algumas propriedades aditivas e multiplicativas, entretanto, existe uma quantidade enorme de problemas práticos importantes que têm sido enfocados e resolvidos com técnicas e modelos lineares de maneira satisfatória. O número e diversidade das aplicações da programação linear no dia-a-dia de empresas continuam crescendo.

1.6 RESOLUÇÃO PADRÃO

Para resolver um modelo de programação linear, deve-se desenvolver um algoritmo que reduza o modelo original para uma forma equivalente de forma que possibilite a aplicação direta desse algoritmo. Um modelo de programação linear estará em sua forma padrão quando possuir a formulação ilustrada pela equação abaixo (modelo de minimização):

$$Min\ Z = \sum_{j=1}^{n} C_j X_j$$

Equação 1 – modelo de minimização programação linear

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = b_i, \quad com \quad b_i \geq 0 \qquad i = 1,2,\ldots,m$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1,2,\ldots,n$$

De outra maneira, o modelo pode estar explicitado de forma matricial:

$$Min\ Z = C'X$$

Equação 2 – modelo forma matricial

Sujeito a:

$$AX = b, \quad com\ b \geq 0$$

$$X \geq 0$$

Onde:

$$X_{nx1}, A_{mxn}, C_{nx1}, b_{nx1}$$

Ademais, em problemas de maximização, as restrições devem ser tratadas como igualdades, assim como as variáveis e constantes devem ser não negativas.

Apesar de essa metodologia resultar em uma solução ótima do modelo e um valor ótimo, para problemas mais complexos, torna-se necessário a utilização de formas de resolução mais eficientes e genéricas. Um método existente na pesquisa operacional é o Método Simplex.

1.7 PROGRAMAÇÃO LINEAR – MÉTODO SIMPLEX

O Método Simplex consiste em uma técnica que foi desenvolvida para solucionar problemas de programação linear. Aplica-se quando o problema já apresenta uma solução básica inicial. As soluções básicas subsequentes são calculadas através da troca de variáveis básicas por não básicas, gerando novas soluções.

A idéia central do Simplex é formar uma nova base de resoluções a partir da escolha de entrada e saída de vetores e das variáveis em questão. Dado isso, considera-se que o método simplex resolve problemas multidimensionais, uma vez que existem mais de uma variável de decisão e restrições para resolver a programação. Por se caracterizar como uma operação de tabela pivô, o método simplex pode ser visto como a maioria das operações de algebra linear. Em outras palavras, o método consiste em colocar todas as informações e dados em matrizes para resolver as equações lineares do problema. O método soluciona problemas a partir de uma sequencia sucessiva de pivoteamentos matriciais para encontrar a sequencia de dados que se difere (mais otimizada) do vetor antecessor.

Resumidamente, a idéia consiste em encontrar a maior diferença existente entre cada uma das relações matriciais e alocar os recursos e restrições neste que possui o maior “gap” quando se pretende maximizar e no menor, quando o objetivo é minimizar a função objetivo do problema.

Para facilitar o entendimento, foi elaborado um fluxograma que apresenta o algoritmo simplificado e resumido do método simplex durante a resolução dos problemas:

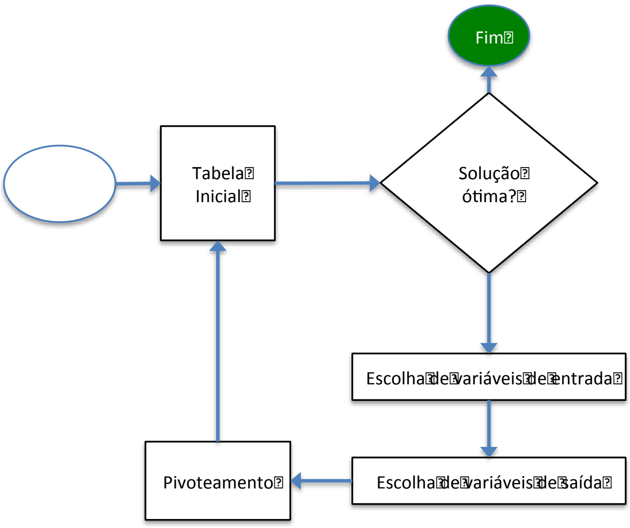

Figura 1 – Fluxograma simplificado algoritmo simplex

O método simplex (para maximização) pode ser resumido nos passos a seguir (Johns Hopkins Writing School of Engineering, 2011):

1. Possuir uma tabela correspondente as soluções viáveis básicas. Por exemplo, assumindo que as variáveis básicas são X1, X2,,,,, Xm , a tabela simplex deveria ser:

x_1	x_2	$\dots$	x_m	x_{m+1}	x_{m+2}	$\dots$	x_j	$\dots$	x_n	RHS
1	0	$\dots$	0	$\bar{a}_{1,m+1}$	$\bar{a}_{1,m+2}$	$\dots$	$\bar{a}_{1j}$	$\dots$	$\bar{a}_{1n}$	$\bar{b}_1$
0	1	$\dots$	0	$\bar{a}_{2,m+1}$	$\bar{a}_{2,m+2}$	$\dots$	$\bar{a}_{2j}$	$\dots$	$\bar{a}_{2n}$	$\bar{b}_2$
					$\vdots$					
0	0	$\dots$	0	$\bar{a}_{i,m+1}$	$\bar{a}_{i,m+2}$	$\dots$	$\bar{a}_{ij}$	$\dots$	$\bar{a}_{in}$	$\bar{b}_i$
					$\vdots$					
0	0	$\dots$	1	$\bar{a}_{m,m+1}$	$\bar{a}_{m,m+2}$	$\dots$	$\bar{a}_{mj}$	$\dots$	$\bar{a}_{mn}$	$\bar{b}_m$
0	0	$\dots$	0	$\bar{c}_{m+1}$	$\bar{c}_{m+2}$	$\dots$	$\bar{c}_j$	$\dots$	$\bar{c}_n$	$(-z)$

2. Para cada $c_j \geq 0$, parar, pois a solução viável será a ótima;
3. Escolher uma variável cuja relação Cq (média) < 0 para determinar qual variável não básica está para se tornar básica;
4. Calcular a razão entre b_i (média) sobre a_{iq} (média) para todo a_{iq} (média) > 0 , i = 1,2,...,m. Se nenhum a_{iq} (média) > 0 , parar, pois o problema é ilimitado. Caso contrário, escolher um p como índice que corresponda a razão mínima, por exemplo:

$$\frac{\bar{b}_p}{\bar{a}_{pq}} = \min_i\{\frac{\bar{b}_i}{\bar{a}_{iq}}, \bar{a}_{iq} > 0\}$$

5. Realizar o pivoteamento do elemento enésimo, atualizando as linhas, inclusive a linha Z. Depois, retornar ao passo 1.

1.8 PROGRAMAÇÃO LINEAR – PROBLEMA DO TRANSPORTE

Este tipo de problema foi proposto pela primeira vez no início da década de 60, através dos trabalhos realizados por Ford & Fulkerson (1962) e Hu (1963). Genericamente falando, esses problemas tratam um grande número de variáveis e restrições, além de possuírem uma extensa variedade de aplicações, tais como:

- Sequenciamento de cargas (Shan, 1985);
- Roteamento/Sequenciamento de suprimentos militares (Kennington e Helgason, 1980; Schultz e Meyer, 1991; Staniec, 1987);
- Roteamento de mensagens em redes de comunicação (Naniwada, 1969; Hu, 1969);
- Localização de depósitos (Geoffrion e Graves, 1974);
- Sequenciamento de operações em refinarias de petróleo (Lasdon, 1970);
- Planejamento de sistemas de tráfego urbano (Bradley, 1965; Potts e Oliver, 1972);
- Planejamento de produção de bens de consumo (Hax e Candea, 1984).

Em sua maioria tratam-se de problemas relacionados às áreas de transporte e telecomunicações. Os problemas de fluxo citados acima geralmente abordam um processo de otimização de distribuição de produtos originados em pontos de ofertas e consumidos em pontos de demanda. Todas essas relações ocorrem dentro de uma rede de interligações possíveis, as quais estão sujeitas a restrições de capacidade e custos.

Esses tipos de problemas incluem problemas de transbordo, onde usam-se dos conceitos de:

- Nós de fornecimento/fonte;
- Nós de consumo/sumidouro;
- Nós de distribuição/passagem.

Existem vários autores que abordam tipos de formulação e resolução de problemas de transbordo similares. Entre eles, podem ser citados Barnhart et al. (1995); Farvolden et al. (1993); Rardin e Choe (1979); e Maccallum (1977).

Sabendo que a formulação de problemas de transbordo pode ser baseada tanto nos arcos como nos nós, tem-se que, no caso de não haver capacidades nos arcos, a formulação que é baseada nas rotas demonstra ser menos eficiente se comparada com a formulação baseada nos arcos. A partir dessa premissa, a formulação arco-rota define um conjunto de caminhos ou rotas para o atendimento dos serviços, podendo ser aplicada a um problema de rede de comunicação (Maccallum, 1997):

$$\min \sum_{k \in P} \sum_{r \in R(k)} c_r^k x_r^k$$

Equação 3 – Formulação arco-rota

Sujeito a:

$$\sum_{k \in P} \sum_{r \in R(k)} a_{ij}^r x_r^k \leq u_{ij}, \forall\, i,j \in A$$

1.9 PROBLEMA FLUXO MULTIPERIODO

Problemas de fluxo multiperíodo consistem no dimensionamento dos recursos produtivos de acordo com a capacidade produtiva, capacidade de estoque para que assim, seja possível atender à demanda certa no momento adequado. Esse tipo de problema estrutura um plano que seja capaz de responder à previsão de demanda através da combinação da capacidade produtiva e níveis de estoques. Em geral, para esse tipo de modelagem, o nível de estoque varia de três meses a um ano (Narasimhan; McLeavey; Billington, 1995, p. 256).

O objetivo dos problemas de fluxo multiperíodo é providenciar uma capacidade tal que os custos de falta de capacidade (perda de vendas, por exemplo) e os custos de excesso de capacidade (custos de recursos ociosos) sejam minimizados. Na maioria dos casos, o planejamento é realizado para uma família de produtos, dado que geralmente compartilham das mesmas instalações, equipamentos e mão-de-obra (Lustosa e Nanci, 2008, p.104).

Normalmente, nos modelos desse tipo de problema, a função objetivo é a minimização dos custos totais, dado pela soma dos custos de produção com o custo total de manter estoque:

$$CT = CT_{produção} + CT_{estoque}$$

Equação 4 - custo total

No caso do presente trabalho, o custo de transporte é considerado no cálculo do custo total, resultando em:

$$CT = CT_{produção} + CT_{transporte} + CT_{estoque(se\ houver\ estoque)}$$

Equação 5 - custo total com estoque

Conforme já mencionado, pode existir ou não a necessidade de estocar, pois, considerando dois períodos, por exemplo, o produto pode ser produzido no primeiro período e entregue no segundo (houve estocagem de 1 período) ou pode ser produzido no primeiro e entregue no primeiro (sem custo de estocagem) ou pode ser produzido no segundo e entregue no segundo (sem custo de estocagem).

Para realizar esta otimização a partir da minimização do custo total e dos produtos entregues, basta minimizar o somatório do custo total multiplicado pela quantidade total enviada do fornecedor "x" para o cliente "y" do período "i" para o período "j", lembrando que é impossível produzir no período i+1 e entregar no período i, obviamente.

Apesar da generalidade de utilizar entre três meses a um ano, a maioria das referências teóricas voltadas para solucionar esse tipo de problema utiliza-se de dois cenários diferentes, casos com horizonte finito e casos com horizonte infinito. Para fins práticos e para facilitar o entendimento do projeto em questão, será explicado somente os casos com horizonte finito. De forma contínua às variáveis citadas na seção 2.4, esse tipo de problema assume a demanda "D" constante por todo o tempo analisado, assim como os parâmetros de custos, que se mantêm (Mahesh Nagarajan & S. Rajagopalan, 2008).

A partir de um modelo multiperíodo côncavo, assume-se que $\alpha_n + \beta_n \geq 1$. Além disso, assume-se que o fator de desconto $\delta = 1$ e $G_n(I_n^1, I_n^2)$ representam o lucro esperado em uma situação que contém "n" períodos até que chegue ao fim do horizonte, onde o estoque de cada um dos produtos na hora da ordem demandada é representado por I_n^1 e I_n^2, em caso de dois produtos. De forma adicional, uma política ótima para os produtos restantes é aplicada. Ainda de acordo com os autores, para essa situação, a programação correspondente seria:

$$G_n = (I_1^1, I_1^2) = \max_{(\alpha_1,\beta_1)\geq(I_1^1,I_1^2)} [\pi_1(\alpha_1,\beta_1) - c(\alpha_1 + \beta_1 - I_1^1 - I_1^2)]$$

Equação 6 - programação multiproduto (1/2)

Onde genericamente:

$$G_n(I_n^1, I_n^2) = \max_{(\alpha_n,\beta_n)\geq(I_n^1,I_n^2)} [\pi_1(\alpha_n,\beta_n) - c(\alpha_n + \beta_n - I_n^1 - I_n^2)] + \int_0^{1-\beta_n} G_{n-1}\ (\alpha_n - p - \gamma(1 - p - \beta_n), 0)\, dF$$

Equação 7 - programação multiproduto (2/2)

Alguns desses casos também podem ser comprovados como sendo monotonamente não decrescentes em n. Sendo assim, para casos onde $\gamma \leq \gamma^*$, tem-se:

$$G_n(I_n^1, I_n^2) = \begin{cases} c(I_n^1 + I_n^2) + X_n(\alpha_n{}^*, \beta_n{}^*); & I_n^1 \leq \alpha_n{}^*, I_n^2 \leq \beta_n{}^* \\ c(I_n^1 + I_n^2) + X_n(\alpha_n{}^*, I_n{}^2); & I_n^1 \leq \alpha_n{}^*, I_n^2 > \beta_n{}^* \\ c(I_n^1 + I_n^2) + X_n(I_n^1, \beta_n{}^*); & I_n^1 > \alpha_n{}^*, I_n^2 \leq \beta_n{}^* \\ c(I_n^1 + I_n^2) + X_n(I_n^1, I_n^2); & I_n^1 > \alpha_n{}^*, I_n^2 > \beta_n{}^* \\ (\alpha_{n+1}^*, \beta_{n+1}^*) & \end{cases}$$

Equação 8 - comprovação multiproduto

1.10 MPS – *MASTER PRODUCTION SCHEDULE*

Um dos principais desafios enfrentados por gerentes de produção refere-se ao planejamento da produção, podendo ser realizado em um curto, médio ou longo prazo. Diante das ocorrências inesperadas, restrições, falhas técnicas, quebra de máquinas, limitações de recursos, entre outras, é necessário realizar adaptações constantes no planejamento previamente realizado. Estas adaptações buscam uma maneira otimizada de produzir a fim de atender a demanda no tempo certo e na quantidade requisitada. Entretanto, geram impacto no planejamento de curto, médio e longo prazo.

Para problemas de otimização de planejamentos de produção, alguns estudos que tem contribuído para este desenvolvimento são: *Johnson and the flow shop scheduling problem (1954); Henry Gantt and his charts (1916) e; Frederick Taylor and the planning office (1911).* Jeffrey W. Herrmann, impõe que o problema a ser resolvido é representado na Figura 3 (*The Institute for Systems Research)*. Herrmann explora uma estratégia integrada da visão dos autores listados acima para entender e otimizar a situação de planejamento da produção. As seguintes perspectivas são incluídas:

- Perspectiva organizacional;
- Perspectiva de tomada de decisão;
- Perspectiva de solução de problemas.

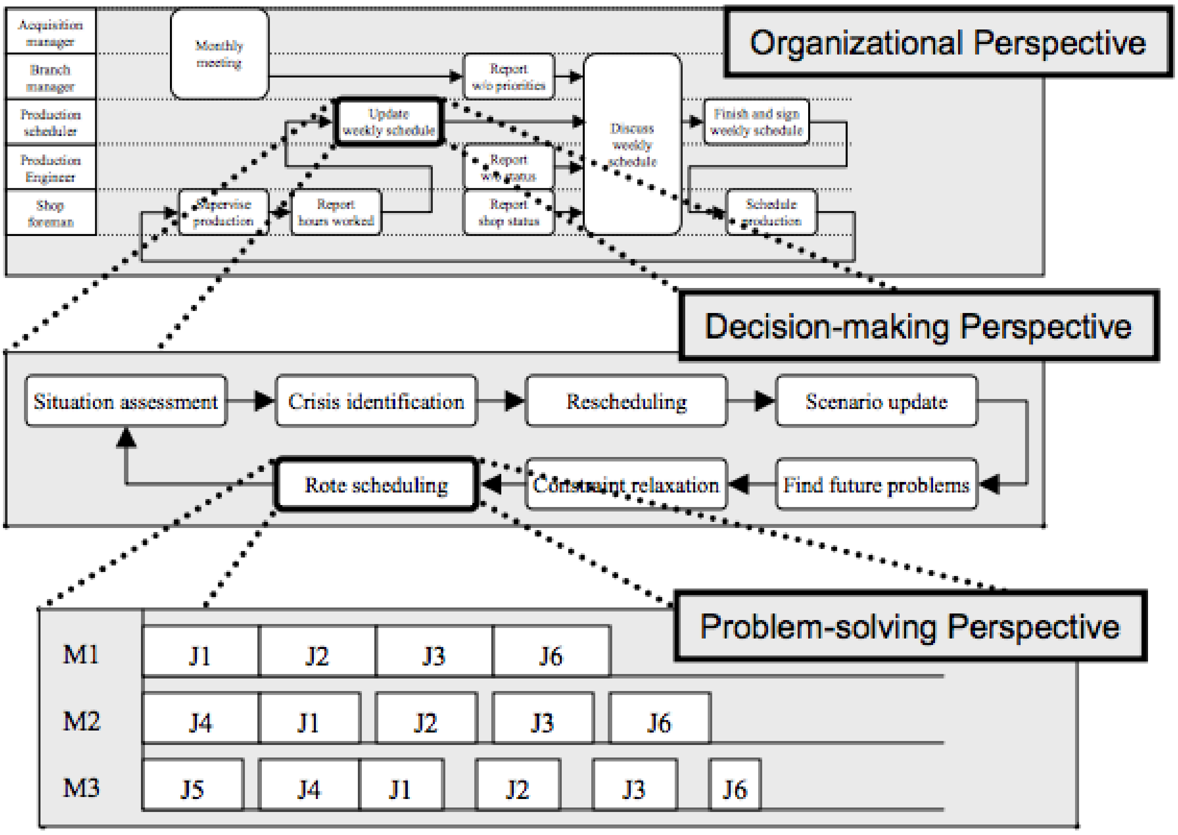

Figura 2 - Problema MPS (Fonte: Jeffrey W. Herrmann, 2007)

Cada perspectiva engloba ações e aspectos que influenciam no planejamento da produção e resulta em atualizações do mesmo. Para isso, sugere-se que sejam seguidos 7 (sete) passos:

1. Estudar o sistema de planejamento da produção;
2. Analisar o modelo e determinar mudanças no fluxo de informações (tomadas de decisão, tarefas, etc);
3. Identificar gargalos e entenda aonde o problema ocorre;
4. Avaliar a alocação de recursos e o processo de planejamento da produção;
5. Definir aprimoramentos e solucione problemas no processo de planejamento da produção;
6. Implementar as mudanças selecionadas;
7. Verificar o impacto das mudanças e repita de forma cíclica.

Diante desse contexto, o *master production schedule* visa realizar uma otimização que relaciona tanto multiperíodo como multiproduto, a fim de definir a quantidade e temporizar a produção para quando e para quem se vender, levando em consideração todas as restrições do problema.

ESTUDO DE CASO

O estudo realizado é de caráter quantitativo, seguindo a metodologia de modelagem, baseando-se na utilização da programação linear para a obtenção dos resultados ótimos do problema em questão.

1.11 EMPRESA

As análises do presente projeto acontecerão dentro do contexto de uma empresa Inglesa que comercializa concreto para ambas utilizações domésticas e comerciais, chamada Brett Landscaping. O estudo realizado possui caráter quantitativo e envolve a aplicação de técnicas de pesquisa operacional que incluem otimização e programação linear para analisar diferentes cenários reais das operações de produção e distribuição logística da empresa a fim de obter as melhores respostas de alocação de recursos.

1.12 CASO DO PROJETO

O tratamento dos cenários foi realizado a partir da utilização de uma ferramenta computacional, do Microsoft Office Excel®, com o auxílio da ferramenta de análise Solver®. A versão do Solver utilizada foi a versão padrão, que possibilita a utilização de 200 variáveis de decisão para ambos problemas lineares e não lineares. Diante disso, todos os cenários foram simulados a partir desta limitação. Os cenários forem definidos de forma conjunta com a empresa estudada, uma vez que atenderiam melhor suas necessidades, por se tratar do produto com maior impacto em sua receita, além de envolver problemas que a empresa considera complexo. Foram realizadas simulações em três cenários:

- Cenário 1: Somente 1 produto, com 3 sites de produção e 63 clientes;
- Cenário 2: 2 produtos, 3 sites de produção e 16 clientes;
- Cenário 3: 1 produto, 3 sites de produção, 2 períodos e 16 clientes.

Para cada um dos cenários, foram observadas as restrições e outras variáveis envolvidas a fim de obter a resposta ótima e custo mínimo de operacionalização. Após a aplicação da programação linear, foram comparados os cenários atuais e cenários otimizados com o intuito de obter os ganhos/economias financeiros relacionados à operacionalização do negócio.

1.13 DADOS

Os dados utilizados para otimizar todos os 3 cenários foram obtidos através de levantamentos *in loco*, contatos, solicitações de dados e pesquisas na própria empresa Brett Landscaping (site de produção de Barrow, situado no distrito de Leicestershire, em Barrow upon Soar, Reino Unido). Cada um dos cenários possui alguns dados que serviram para realizar a análise. Sendo esses:

- Lista de clientes;
- Capacidade produtiva;
- Eficiência de linhas de produção;
- Lista de fornecedores (sempre 3 – Barrow, Cliffe e Poole)
- Demanda dos clientes;
- Fornecedor atual;
- Custo de transporte (envolvendo todos os fornecedores e todos os clientes);
- Custo de manufatura total (para cada um dos sites de produção);
- Custo de estocagem.

Para o cenário 1 (1 produto, 3 sites de produção e 64 clientes) foram utilizados os seguintes parâmetros:

Tabela 1 - Cliente, demanda e fornecedor atual Cenário 1

Código do Distrito	Distrito	Demanda	Fornecedor atual	Código do Distrito	Distrito	Demanda	Fornecedor atual
AL	ST. ALBANS	1188	Cliffe	N	LONDON	1399	Cliffe
BA	BATH	2149	Poole	NN	NORTHAMPTON	2945	Barrow
BH	BOURNEMOUTH	6368	Poole	NP	PONTYPOOL	600	Poole
BN	BRIGHTON	6991	Cliffe	NR	NORWICH	4775	Cliffe
BR	BROMLEY	1694	Cliffe	NW	LONDON	1249	Cliffe
BS	BRISTOL	1366	Poole	OX	OXFORD	6476	Poole
CB	CAMBRIDGE	1836	Cliffe	PE	PETERBOROUGH	7770	Cliffe
CF	CARDIFF	1556	Poole	Poole	PooleYMOUTH	2080	Poole
CM	BURNHAM-ON-CROUCH	5567	Cliffe	PO	PORTSMOUTH	8146	Poole
CO	COLCHESTER	5027	Cliffe	RG	READING	11027	Cliffe
CR	CROYDON	7096	Cliffe	RH	REDHILL	5995	Cliffe
CT	CANTERBURY	6566	Cliffe	RM	ROMFORD	9672	Cliffe
DA	DARTFORD	4959	Cliffe	SA	SWANSEA	704	Poole
DN	DONCASTER	3104	Barrow	SE	LONDON	1708	Cliffe
DT	DORCHESTER	1033	Poole	SG	STEVENAGE	3590	Cliffe
E	LONDON	881	Cliffe	SL	IVER	5534	Cliffe
EN	ENFIELD	2017	Cliffe	SM	SUTTON	2201	Cliffe
EX	EXETER	1450	Poole	SN	SWINDON	5869	Poole
FK	FALKIRK	12	Barrow	SO	SOUTHAMPTON	8071	Poole
GL	GLOUCESTER	1954	Cliffe	SP	SALISBURY	2344	Cliffe
GU	GUILDFORD	5225	Cliffe	SS	VESTCliffeIFF-ON-SE	9313	Cliffe
HA	WEMBLEY	1050	Cliffe	SW	LONDON	952	Cliffe
HP	HEMEL HEMPSTEAD	2544	Cliffe	TA	TAUNTON	1518	Poole
HR	HEREFORD	234	Cliffe	TN	TUNBRIDGE WELLS	6531	Cliffe
IG	ILFORD	1369	Cliffe	TQ	TORQUAY	1307	Poole
IP	IPSWICH	5404	Cliffe	TR	TRURO	809	Poole
KT	KINGSTON UPON THAMES	1646	Cliffe	TS	CliffeEVELAND	36	Barrow
LD	LLANDRINDOD WELLS	212	Poole	TW	TWICKENHAM	15603	Cliffe
LN	LINCOLN	2391	Barrow	UB	SOUTHALL	3716	Cliffe
LU	LUTON	1137	Cliffe	W	LONDON	288	Cliffe
ME	ROCHESTER	7193	Cliffe	WD	RICKMANSWORTH	577	Cliffe
MK	MILTON KEYNES	4913	Cliffe				

Tabela 2 - Custo de transporte unitário Cenário 1

	Barrow	Cliffe	Poole
AL	£ 18,07	£ 16,62	£ 22,68
BA	£ 19,77	£ 23,29	£ 15,27
BH	£ 12,82	£ 11,70	£ 5,75
BN	£ 22,41	£ 15,47	£ 16,93
BR	£ 11,59	£ 5,42	£ 10,20
BS	£ 20,31	£ 24,58	£ 17,96
CB	£ 20,55	£ 19,18	£ 24,83
CF	£ 20,20	£ 25,85	£ 20,18
CM	£ 17,87	£ 11,90	£ 21,42
CO	£ 19,50	£ 12,52	£ 21,76
CR	£ 12,25	£ 7,69	£ 11,92
CT	£ 18,51	£ 8,89	£ 19,06
DA	£ 12,97	£ 8,88	£ 16,39
DN	£ 13,28	£ 19,58	£ 22,82
DT	£ 20,44	£ 19,65	£ 12,38
E	£ 18,31	£ 14,64	£ 19,99
EN	£ 18,04	£ 13,33	£ 19,44
EX	£ 24,81	£ 29,18	£ 21,19
FK	£ 37,05	£ 44,02	£ 51,09
GL	£ 18,32	£ 23,26	£ 20,34
GU	£ 18,30	£ 15,36	£ 17,22
HA	£ 17,20	£ 12,26	£ 17,62
HP	£ 16,59	£ 16,09	£ 20,20
HR	£ 16,36	£ 24,75	£ 20,53
IG	£ 18,60	£ 10,54	£ 18,37
IP	£ 22,27	£ 16,59	£ 25,76
KT	£ 25,21	£ 15,62	£ 22,05
LD	£ 16,55	£ 24,90	£ 22,13
LN	£ 13,64	£ 19,75	£ 23,11
LU	£ 16,36	£ 17,31	£ 23,59
ME	£ 16,98	£ 7,42	£ 16,28
MK	£ 13,96	£ 17,62	£ 20,12

	Barrow	Cliffe	Poole
N	£ 19,02	£ 12,69	£ 18,60
NN	£ 12,69	£ 19,22	£ 21,32
NP	£ 19,13	£ 25,89	£ 19,62
NR	£ 20,77	£ 18,89	£ 26,42
NW	£ 15,81	£ 11,31	£ 16,91
OX	£ 13,64	£ 15,46	£ 15,41
PE	£ 14,68	£ 18,86	£ 23,75
PL	£ 24,86	£ 28,05	£ 20,45
PO	£ 18,96	£ 15,48	£ 12,28
RG	£ 15,78	£ 14,71	£ 14,72
RH	£ 19,02	£ 12,63	£ 17,69
RM	£ 16,27	£ 8,95	£ 16,15
SA	£ 22,46	£ 30,24	£ 24,44
SE	£ 13,92	£ 9,25	£ 14,41
SG	£ 15,96	£ 14,51	£ 20,02
SL	£ 16,21	£ 12,54	£ 16,00
SM	£ 16,13	£ 10,46	£ 14,48
SN	£ 15,56	£ 17,14	£ 13,29
SO	£ 15,93	£ 14,07	£ 9,66
SP	£ 20,65	£ 20,18	£ 12,81
SS	£ 17,53	£ 8,39	£ 18,04
SW	£ 20,23	£ 14,78	£ 18,65
TA	£ 20,89	£ 22,97	£ 15,08
TN	£ 20,12	£ 10,52	£ 18,07
TQ	£ 22,80	£ 22,93	£ 15,15
TR	£ 31,93	£ 34,55	£ 23,29
TS	£ 26,05	£ 30,53	£ 39,17
TW	£ 13,13	£ 9,63	£ 12,81
UB	£ 14,50	£ 11,59	£ 14,57
W	£ 17,52	£ 13,06	£ 19,85
WD	£ 17,57	£ 17,55	£ 22,35

Tabela 3 - Custos totais de manufatura unitária Cenário 1

Barrow	Cliffe	Poole
£ 39,33	£ 41,29	£ 42,28

Tabela 4 - Custo total unitário (Ctransporte + Cmanufatura) Cenário 1

	Barrow	Cliffe	Poole		Barrow	Cliffe	Poole
AL	£ 57,40	£ 57,91	£ 64,96	N	£ 58,35	£ 53,98	£ 60,88
BA	£ 59,10	£ 64,58	£ 57,55	NN	£ 52,02	£ 60,51	£ 63,60
BH	£ 52,15	£ 52,99	£ 48,03	NP	£ 58,46	£ 67,18	£ 61,90
BN	£ 61,74	£ 56,76	£ 59,21	NR	£ 60,10	£ 60,18	£ 68,70
BR	£ 50,92	£ 46,71	£ 52,48	NW	£ 55,14	£ 52,60	£ 59,19
BS	£ 59,64	£ 65,87	£ 60,24	OX	£ 52,97	£ 56,75	£ 57,69
CB	£ 59,88	£ 60,47	£ 67,11	PE	£ 54,01	£ 60,15	£ 66,03
CF	£ 59,53	£ 67,14	£ 62,46	PL	£ 64,19	£ 69,34	£ 62,73
CM	£ 57,20	£ 53,19	£ 63,70	PO	£ 58,29	£ 56,77	£ 54,56
CO	£ 58,83	£ 53,81	£ 64,04	RG	£ 55,11	£ 56,00	£ 57,00
CR	£ 51,58	£ 48,98	£ 54,20	RH	£ 58,35	£ 53,92	£ 59,97
CT	£ 57,84	£ 50,18	£ 61,34	RM	£ 55,60	£ 50,24	£ 58,43
DA	£ 52,30	£ 50,17	£ 58,67	SA	£ 61,79	£ 71,53	£ 66,72
DN	£ 52,61	£ 60,87	£ 65,10	SE	£ 53,25	£ 50,54	£ 56,69
DT	£ 59,77	£ 60,94	£ 54,66	SG	£ 55,29	£ 55,80	£ 62,30
E	£ 57,64	£ 55,93	£ 62,27	SL	£ 55,54	£ 53,83	£ 58,28
EN	£ 57,37	£ 54,62	£ 61,72	SM	£ 55,46	£ 51,75	£ 56,76
EX	£ 64,14	£ 70,47	£ 63,47	SN	£ 54,89	£ 58,43	£ 55,57
FK	£ 76,38	£ 85,31	£ 93,37	SO	£ 55,26	£ 55,36	£ 51,94
GL	£ 57,65	£ 64,55	£ 62,62	SP	£ 59,98	£ 61,47	£ 55,09
GU	£ 57,63	£ 56,65	£ 59,50	SS	£ 56,86	£ 49,68	£ 60,32
HA	£ 56,53	£ 53,55	£ 59,90	SW	£ 59,56	£ 56,07	£ 60,93
HP	£ 55,92	£ 57,38	£ 62,48	TA	£ 60,22	£ 64,26	£ 57,36
HR	£ 55,69	£ 66,04	£ 62,81	TN	£ 59,45	£ 51,81	£ 60,35
IG	£ 57,93	£ 51,83	£ 60,65	TQ	£ 62,13	£ 64,22	£ 57,43
IP	£ 61,60	£ 57,88	£ 68,04	TR	£ 71,26	£ 75,84	£ 65,57
KT	£ 64,54	£ 56,91	£ 64,33	TS	£ 65,38	£ 71,82	£ 81,45
LD	£ 55,88	£ 66,19	£ 64,41	TW	£ 52,46	£ 50,92	£ 55,09
LN	£ 52,97	£ 61,04	£ 65,39	UB	£ 53,83	£ 52,88	£ 56,85
LU	£ 55,69	£ 58,60	£ 65,87	W	£ 56,85	£ 54,35	£ 62,13
ME	£ 56,31	£ 48,71	£ 58,56	WD	£ 56,90	£ 58,84	£ 64,63
MK	£ 53,29	£ 58,91	£ 62,40				

A capacidade produtiva para o cenário 1 foi definida através das informações passadas pela empresa. Utilizou-se de alguns elementos para calculá-la:

- OEE (*Overall equipment effectiveness – eficiência em %*);
- Taxa de produção (toneladas/hora);
- Quantidade de turnos;
- Quantidade de dias trabalhados na semana;
- Quantidade de horas por turnos;
- Quantidade de produção dedicada a outros produtos.

A partir dessas variáveis, obtém-se a quantidade ideal a ser produzida para cada um dos sites de produção a partir da variação da quantidade de turnos a serem trabalhados. O site de produção Cliffe, em especial, possui 3 linhas de produção, portanto, cada uma dessas variáveis foi considerada para todas, e a capacidade total do site foi considerada a soma delas. A fórmula para calcular a produção ideal para os cenários foi definida por meio da orientação da empresa, ilustrada abaixo:

$$Capacidade\ total = \frac{Toneladas}{Hora} * Qt\ de\ turnos * Semanas\ por\ mês * \frac{Horas}{Turno} * OEE - Produção\ dedicada$$

Equação 9 - capacidade total de produção

Para esses cálculos, foram acordados com a empresa de assumir 48 semanas por ano e 12 horas por turno trabalhado. Além disso, a empresa disponibilizou e orientou que deveriam ser usadas as seguintes eficiências para o estudo:

- OEE Barrow: 65%
- OEE Cliffe 1: 70%
- OEE Cliffe 2: 75%
- OEE Cliffe 3: 75%
- OEE Poole: 75%

Para o cenário 2, foram utilizados os dados:

Tabela 5 - Cliente, demanda e fornecedor atual Cenário 2

Código do Distrito	Distrito	Demanda Alpha	Demanda Omega	Fornecedor atual
RG	READING	2483	11306	Cliffe
CF	CARDIFF	320	1239	Barrow
WD	RICKMANSWORTH	349	659	Cliffe
NP	PONTYPOOL	0	573	Poole
HP	HEMEL HEMPSTEAD	1656	3341	Cliffe
LU	LUTON	293	859	Cliffe
CB	CAMBRIDGE	1519	3403	Cliffe
SG	STEVENAGE	1037	4679	Cliffe
AL	ST. ALBANS	121	1429	Barrow
BN	BRIGHTON	706	4853	Barrow
OX	OXFORD	841	8024	Poole
GU	GUILDFORD	2045	4213	Cliffe
NR	NORWICH	1672	5242	Cliffe
SA	SWANSEA	75	496	Poole
GL	GLOUCESTER	800	2690	Cliffe
SN	SWINDON	685	3947	Poole

Tabela 6 - Custo de manufatura Cenário 2

Manufatura	Barrow	Cliffe	Poole
Alpha	45,82	45,82	45,82
Omega	42,17	37,42	38,67

Tabela 7 - Custo de transporte unitário Cenário 2

	Barrow	Cliffe	Poole
RG	£ 15,78	£ 14,71	£ 14,72
CF	£ 20,20	£ 25,85	£ 20,18
WD	£ 17,57	£ 17,55	£ 22,35
NP	£ 19,13	£ 25,89	£ 19,62
HP	£ 16,59	£ 16,09	£ 20,20
LU	£ 16,36	£ 17,31	£ 23,59
CB	£ 20,55	£ 19,18	£ 24,83
SG	£ 15,96	£ 14,51	£ 20,02
AL	£ 18,07	£ 16,62	£ 22,68
BN	£ 22,41	£ 15,47	£ 16,93
OX	£ 13,64	£ 15,46	£ 15,41
GU	£ 18,30	£ 15,36	£ 17,22
NR	£ 20,77	£ 18,89	£ 26,42
SA	£ 22,46	£ 30,24	£ 24,44
GL	£ 18,32	£ 23,26	£ 20,34
SN	£ 15,56	£ 17,14	£ 13,29

Tabela 8 - Custos total unitário (manufatura + transporte) Cenário 2

Site/Cliente		Barrow		Cliffe		Poole	
Produto		Alpha	Omega	Alpha	Omega	Alpha	Omega
RG	Alpha	£ 61,60	£ 57,95	£ 60,53	£ 52,13	£ 60,54	£ 53,39
	Omega	£ 61,60	£ 57,95	£ 60,53	£ 52,13	£ 60,54	£ 53,39
CF	Alpha	£ 66,02	£ 62,37	£ 71,67	£ 63,27	£ 66,00	£ 58,85
	Omega	£ 66,02	£ 62,37	£ 71,67	£ 63,27	£ 66,00	£ 58,85
WD	Alpha	£ 63,39	£ 59,74	£ 63,37	£ 54,97	£ 68,17	£ 61,02
	Omega	£ 63,39	£ 59,74	£ 63,37	£ 54,97	£ 68,17	£ 61,02
NP	Alpha	£ 64,95	£ 61,30	£ 71,71	£ 63,31	£ 65,44	£ 58,29
	Omega	£ 64,95	£ 61,30	£ 71,71	£ 63,31	£ 65,44	£ 58,29
HP	Alpha	£ 62,41	£ 58,76	£ 61,91	£ 53,51	£ 66,02	£ 58,87
	Omega	£ 62,41	£ 58,76	£ 61,91	£ 53,51	£ 66,02	£ 58,87
LU	Alpha	£ 62,18	£ 58,53	£ 63,13	£ 54,73	£ 69,41	£ 62,26
	Omega	£ 62,18	£ 58,53	£ 63,13	£ 54,73	£ 69,41	£ 62,26
CB	Alpha	£ 66,37	£ 62,72	£ 65,00	£ 56,60	£ 70,65	£ 63,50
	Omega	£ 66,37	£ 62,72	£ 65,00	£ 56,60	£ 70,65	£ 63,50
SG	Alpha	£ 61,78	£ 58,13	£ 60,33	£ 51,93	£ 65,84	£ 58,69
	Omega	£ 61,78	£ 58,13	£ 60,33	£ 51,93	£ 65,84	£ 58,69
AL	Alpha	£ 63,89	£ 60,24	£ 62,44	£ 54,04	£ 68,50	£ 61,35
	Omega	£ 63,89	£ 60,24	£ 62,44	£ 54,04	£ 68,50	£ 61,35
BN	Alpha	£ 68,23	£ 64,58	£ 61,29	£ 52,89	£ 62,75	£ 55,60
	Omega	£ 68,23	£ 64,58	£ 61,29	£ 52,89	£ 62,75	£ 55,60
OX	Alpha	£ 59,46	£ 55,81	£ 61,28	£ 52,88	£ 61,23	£ 54,08
	Omega	£ 59,46	£ 55,81	£ 61,28	£ 52,88	£ 61,23	£ 54,08
GU	Alpha	£ 64,12	£ 60,47	£ 61,18	£ 52,78	£ 63,04	£ 55,89
	Omega	£ 64,12	£ 60,47	£ 61,18	£ 52,78	£ 63,04	£ 55,89
NR	Alpha	£ 66,59	£ 62,94	£ 64,71	£ 56,31	£ 72,24	£ 65,09
	Omega	£ 66,59	£ 62,94	£ 64,71	£ 56,31	£ 72,24	£ 65,09
SA	Alpha	£ 68,28	£ 64,63	£ 76,06	£ 67,66	£ 70,26	£ 63,11
	Omega	£ 68,28	£ 64,63	£ 76,06	£ 67,66	£ 70,26	£ 63,11
GL	Alpha	£ 64,14	£ 60,49	£ 69,08	£ 60,68	£ 66,16	£ 59,01
	Omega	£ 64,14	£ 60,49	£ 69,08	£ 60,68	£ 66,16	£ 59,01
SN	Alpha	£ 61,38	£ 57,73	£ 62,96	£ 54,56	£ 59,11	£ 51,96
	Omega	£ 61,38	£ 57,73	£ 62,96	£ 54,56	£ 59,11	£ 51,96

Para o cenário 3 foram considerados os dados:

Tabela 9 - Cliente, demanda e fornecedor atual Cenário 3

Código do Distrito	Distrito	Demanda Período 1	Demanda Período 2	Fornecedor atual
RG	READING	2472	10304	Cliffe
CF	CARDIFF	493	1459	Barrow
WD	RICKMANSWORTH	478	756	Cliffe
NP	PONTYPOOL	965	647	Poole
HP	HEMEL HEMPSTEAD	1844	3671	Cliffe
LU	LUTON	346	941	Cliffe
CB	CAMBRIDGE	1528	3503	Cliffe
SG	STEVENAGE	1154	4890	Cliffe
AL	ST. ALBANS	221	1834	Barrow
BN	BRIGHTON	798	5003	Barrow
OX	OXFORD	898	7998	Poole
GU	GUILDFORD	2320	4512	Cliffe
NR	NORWICH	2023	5378	Cliffe
SA	SWANSEA	113	568	Poole
GL	GLOUCESTER	812	2678	Cliffe
SN	SWINDON	785	3987	Poole

Tabela 10 - Custos de transporte unitário Cenário 3

	Barrow	Cliffe	Poole
RG	£ 15,78	£ 14,71	£ 14,72
CF	£ 20,20	£ 25,85	£ 20,18
WD	£ 17,57	£ 17,55	£ 22,35
NP	£ 19,13	£ 25,89	£ 19,62
HP	£ 16,59	£ 16,09	£ 20,20
LU	£ 16,36	£ 17,31	£ 23,59
CB	£ 20,55	£ 19,18	£ 24,83
SG	£ 15,96	£ 14,51	£ 20,02
AL	£ 18,07	£ 16,62	£ 22,68
BN	£ 22,41	£ 15,47	£ 16,93
OX	£ 13,64	£ 15,46	£ 15,41
GU	£ 18,30	£ 15,36	£ 17,22
NR	£ 20,77	£ 18,89	£ 26,42
SA	£ 22,46	£ 30,24	£ 24,44
GL	£ 18,32	£ 23,26	£ 20,34
SN	£ 15,56	£ 17,14	£ 13,29

Tabela 11 - Custo de armazenagem unitário por período Cenário 3

	Custo de armazenagem unitário p/ período
Barrow	£ 5,14
Cliffe	£ 4,85
Poole	£ 6,02

Tabela 12 - Custo unitário de manufatura Cenário 3

Barrow	Cliffe	Poole
£ 39,33	£ 41,29	£ 42,28

Tabela 13 - Custo total unitário Cenário 3

Site/Cliente		Barrow		Cliffe		Poole	
Periodo		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 1	Periodo 2
RG	Periodo 1	£ 55,11	£ 999.999,00	£ 56,00	£ 999.999,00	£ 57,00	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 60,25	£ 55,11	£ 60,85	£ 56,00	£ 63,02	£ 57,00
CF	Periodo 1	£ 59,53	£ 999.999,00	£ 67,14	£ 999.999,00	£ 62,46	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 64,67	£ 59,53	£ 71,99	£ 67,14	£ 68,48	£ 62,46
WD	Periodo 1	£ 56,90	£ 999.999,00	£ 58,84	£ 999.999,00	£ 64,63	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 62,04	£ 56,90	£ 63,69	£ 58,84	£ 70,65	£ 64,63
NP	Periodo 1	£ 58,46	£ 999.999,00	£ 67,18	£ 999.999,00	£ 61,90	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 63,60	£ 58,46	£ 72,03	£ 67,18	£ 67,92	£ 61,90
HP	Periodo 1	£ 55,92	£ 999.999,00	£ 57,38	£ 999.999,00	£ 62,48	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 61,06	£ 55,92	£ 62,23	£ 57,38	£ 68,50	£ 62,48
LU	Periodo 1	£ 55,69	£ 999.999,00	£ 58,60	£ 999.999,00	£ 65,87	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 60,83	£ 55,69	£ 63,45	£ 58,60	£ 71,89	£ 65,87
CB	Periodo 1	£ 59,88	£ 999.999,00	£ 60,47	£ 999.999,00	£ 67,11	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 65,02	£ 59,88	£ 65,32	£ 60,47	£ 73,13	£ 67,11
SG	Periodo 1	£ 55,29	£ 999.999,00	£ 55,80	£ 999.999,00	£ 62,30	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 60,43	£ 55,29	£ 60,65	£ 55,80	£ 68,32	£ 62,30
AL	Periodo 1	£ 57,40	£ 999.999,00	£ 57,91	£ 999.999,00	£ 64,96	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 62,54	£ 57,40	£ 62,76	£ 57,91	£ 70,98	£ 64,96
BN	Periodo 1	£ 61,74	£ 999.999,00	£ 56,76	£ 999.999,00	£ 59,21	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 66,88	£ 61,74	£ 61,61	£ 56,76	£ 65,23	£ 59,21
OX	Periodo 1	£ 52,97	£ 999.999,00	£ 56,75	£ 999.999,00	£ 57,69	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 58,11	£ 52,97	£ 61,60	£ 56,75	£ 63,71	£ 57,69
GU	Periodo 1	£ 57,63	£ 999.999,00	£ 56,65	£ 999.999,00	£ 59,50	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 62,77	£ 57,63	£ 61,50	£ 56,65	£ 65,52	£ 59,50
NR	Periodo 1	£ 60,10	£ 999.999,00	£ 60,18	£ 999.999,00	£ 68,70	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 65,24	£ 60,10	£ 65,03	£ 60,18	£ 74,72	£ 68,70
SA	Periodo 1	£ 61,79	£ 999.999,00	£ 71,53	£ 999.999,00	£ 66,72	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 66,93	£ 61,79	£ 76,38	£ 71,53	£ 72,74	£ 66,72
GL	Periodo 1	£ 57,65	£ 999.999,00	£ 64,55	£ 999.999,00	£ 62,62	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 62,79	£ 57,65	£ 69,40	£ 64,55	£ 68,64	£ 62,62
SN	Periodo 1	£ 54,89	£ 999.999,00	£ 58,43	£ 999.999,00	£ 55,57	£ 999.999,00
	Periodo 2	£ 60,03	£ 54,89	£ 63,28	£ 58,43	£ 61,59	£ 55,57

O custo total para o cenário 3 nas relações de produção no período 2 para entrega de produto no período 1 (impossibilidade), foi considerado com o valor de GBP 999.999,00, a fim de nunca serem alocadas quantidades nessas operações.

1.14 APLICAÇÃO DO SOLVER®

Para todos os cenários, foi aplicada a metodologia de otimização através da programação linear Método Simplex com o auxílio da ferramenta do Microsoft Office Excel, Solver®. Esse capítulo visa explicar os parâmetros utilizados para os modelos otimizados.

Em todos os 3 cenários, a função objetivo era a minimização do custo total de operação. O custo total de operação era obtido através da multiplicação dos custos totais unitários pela quantidade alocada em cada uma das operações. Por exemplo, o custo de entregar 1 unidade de produto do fornecedor "i" para o consumidor "j" é de GBP 32,55 e foram alocados 325 desses produtos nessa operação, o que resulta em um custo de GBP 10.578,75.

A função objetivo foi calculada através da fórmula do Microsoft Office Excel® SOMARPRODUTO. Essa função multiplica os valores das matrizes fornecidas e concede o valor da soma desses produtos. Sendo composta:

$$SOMARPRODUTO\ (matriz1; [matriz2]; [matriz3]; \dots)$$

Equação 10 - função objetivo

Otimização Cenário 1: 1 produto, 3 sites de produção e 63 clientes

Para a otimização do cenário 1, utilizou-se o Método Simplex do Microsoft Office Solver® com a função de minimização e a partir dos seguintes parâmetros:

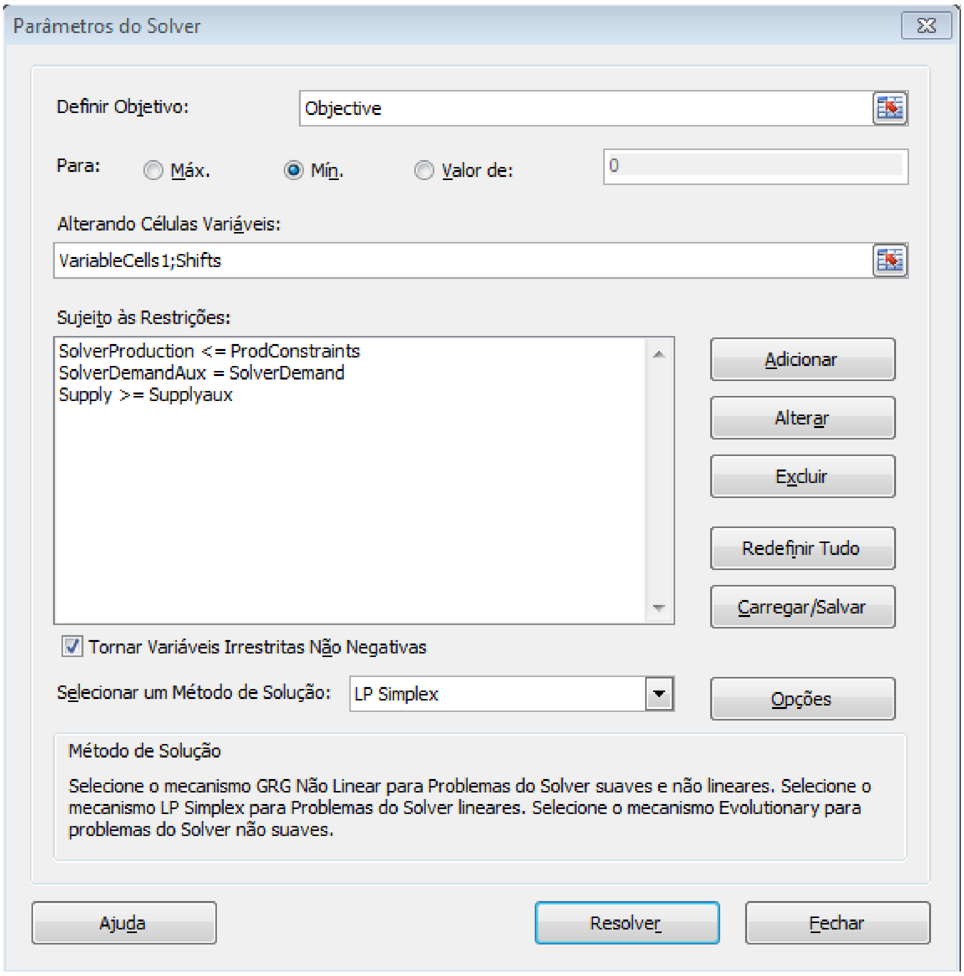

Figura 3 - Solver Cenário 1

A função objetivo é a soma produto da quantidade de produtos alocadas em cada operação pelo custo total da mesma. Variando as células de quantidade de produtos e a quantidade de turnos (para definir a capacidade produtiva), sujeito a:

- Produção total <= Restrições de produção (capacidade máxima de produção);
- Demanda atendida = Demanda solicitada
- Total produzido >= Total fornecido

Como resultado, obteve-se a seguinte alocação:

Tabela 14 - Resultado solver Cenário 1

Site	Barrow	Cliffe	Poole	Demand
AL	0	1188	0	1188
BA	0	0	2149	2149
BH	0	0	6368	6368
BN	0	6991	0	6991
BR	0	1694	0	1694
BS	0	0	1366	1366
CB	0	1836	0	1836
CF	0	0	1556	1556
CM	0	5567	0	5567
CO	0	5027	0	5027
CR	0	7096	0	7096
CT	0	6566	0	6566
DA	0	4959	0	4959
DN	3104	0	0	3104
DT	0	0	1033	1033
E	0	881	0	881
EN	0	2017	0	2017
EX	0	0	1450	1450
FK	12	0	0	12
GL	1954	0	0	1954
GU	0	5225	0	5225
HA	0	1050	0	1050
HP	0	2544	0	2544
HR	234	0	0	234
IG	0	1369	0	1369
IP	0	5404	0	5404
KT	0	1646	0	1646
LD	212	0	0	212
LN	2391	0	0	2391
LU	0	1137	0	1137
ME	0	7193	0	7193
MK	4913	0	0	4913
N	0	1399	0	1399
NN	2945	0	0	2945
NP	0	0	600	600
NR	0	4775	0	4775
NW	0	1249	0	1249
Other	911	0	0	911
OX	4982	1494	0	6476
PE	7770	0	0	7770
PL	0	0	2080	2080
PO	0	0	8146	8146
RG	0	11027	0	11027
RH	0	5995	0	5995
RM	0	9672	0	9672
SA	704	0	0	704
SE	0	1708	0	1708
SG	0	3590	0	3590
SL	0	5534	0	5534
SM	0	2201	0	2201
SN	0	0	5869	5869
SO	0	0	8071	8071
SP	0	0	2344	2344
SS	0	9313	0	9313
SW	0	952	0	952
TA	0	0	1518	1518
TN	0	6531	0	6531
TQ	0	0	1307	1307
TR	0	0	809	809
TS	36	0	0	36
TW	0	15603	0	15603
UB	0	3716	0	3716
W	0	288	0	288
WD	0	577	0	577
Total Produced	30169	155012	44665	
Total Supplied	30169	155012	44665	

Os turnos de produção foram:

Tabela 15 - Turnos de produção e capacidade produtiva Cenário 1

	Barrow	Cliffe R1	Cliffe R2	Cliffe R3	Poole
OEE	0,65	0,7	0,75	0,75	0,75
Shifts	7,74317883	0	9	2,213253766	3,976616848
Tonnes/Hour	26	20	32	32	26
Total Production	**75375,2**	**0**	**124416**	**30596,02006**	**44665,36043**

O custo total obtido foi:

Tabela 16 - Custo total Cenário 1

	Custo
Barrow	£ 3.920.621,27
Cliffe	£ 8.233.660,86
Poole	£ 2.459.176,57
Total	**£ 14.613.458,69**

Para a otimização do cenário 2, também foi utilizado o Método Simplex do Microsoft Office Solver® com a função de minimização e a partir dos seguintes parâmetros:

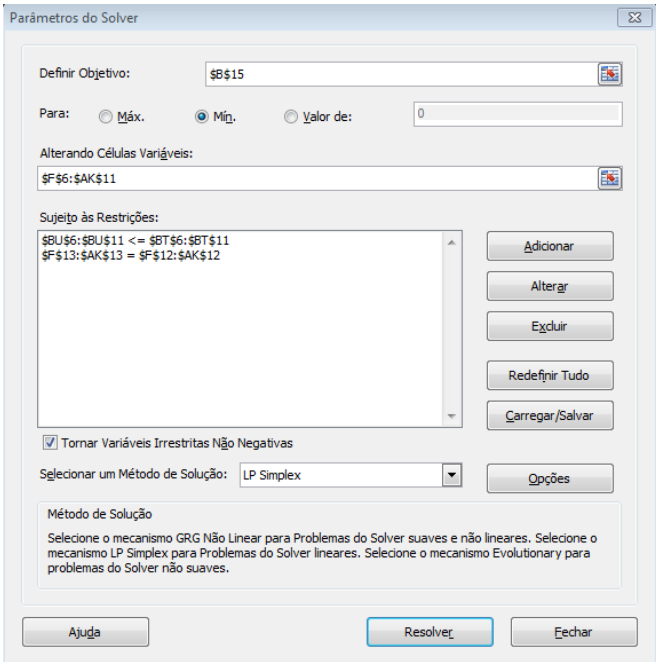

Figura 4 - Solver Cenário 2

Neste caso, igualmente ao cenário 1, a função objetivo é a soma produto da quantidade de produtos alocados em cada operação pelo custo total da mesma. Este cenário foi sujeito às seguintes restrições:

- Produção total <= Restrições de produção (capacidade máxima de produção);
- Demanda atendida = Demanda solicitada

Para esse cenário, a produção foi definida de acordo com a empresa, sendo definidas as capacidades produtivas:

Tabela 17 - Capacidade produtiva Cenário 2

		Capacidade
Barrow	Alpha	12000
	Omega	10230
Cliffe	Alpha	13500
	Omega	14890
Poole	Alpha	12000
	Omega	15000

Os resultados obtidos nas alocações foram:

Site/Customer		Barrow		Cliffe		Poole		Demand
Product		Alpha	Omega	Alpha	Omega	Alpha	Omega	
RG	Alpha	0	0	0	0	2483	0	2483
	Omega	0	0	0	0	2498	8808	11306
CF	Alpha	0	0	0	0	0	320	320
	Omega	0	0	0	0	0	1239	1239
WD	Alpha	349	0	0	0	0	0	349
	Omega	659	0	0	0	0	0	659
NP	Alpha	0	0	0	0	0	0	0
	Omega	573	0	0	0	0	0	573
HP	Alpha	1656	0	0	0	0	0	1656
	Omega	3341	0	0	0	0	0	3341
LU	Alpha	293	0	0	0	0	0	293
	Omega	859	0	0	0	0	0	859
CB	Alpha	1519	0	0	0	0	0	1519
	Omega	55	0	3349	0	0	0	3403
SG	Alpha	0	0	1037	0	0	0	1037
	Omega	0	0	4679	0	0	0	4679
AL	Alpha	0	0	121	0	0	0	121
	Omega	0	0	1429	0	0	0	1429
BN	Alpha	0	0	0	0	706	0	706
	Omega	0	0	2886	1719	249	0	4853
OX	Alpha	0	841	0	0	0	0	841
	Omega	0	8024	0	0	0	0	8024
GU	Alpha	0	0	0	2045	0	0	2045
	Omega	0	0	0	4213	0	0	4213
NR	Alpha	0	0	0	1672	0	0	1672
	Omega	0	0	0	5242	0	0	5242
SA	Alpha	75	0	0	0	0	0	75
	Omega	496	0	0	0	0	0	496
GL	Alpha	0	800	0	0	0	0	800
	Omega	2125	566	0	0	0	0	2690
SN	Alpha	0	0	0	0	0	685	685
	Omega	0	0	0	0	0	3947	3947
Produção		12000	10230	13500	14890	5936	15000	

Figura 5 - Resultado solver cenário 2

O custo total obtido na função objetivo foi:

Tabela 18 - Custo total cenário 2

Total cost
£4.152.528,47

Otimização Cenário 3: 1 produto, 3 sites de produção, 2 períodos e 16 clientes

Para a otimização do cenário 2, utilizou-se o Método Simplex do Microsoft Office Solver® com a função de minimização e a partir dos seguintes parâmetros:

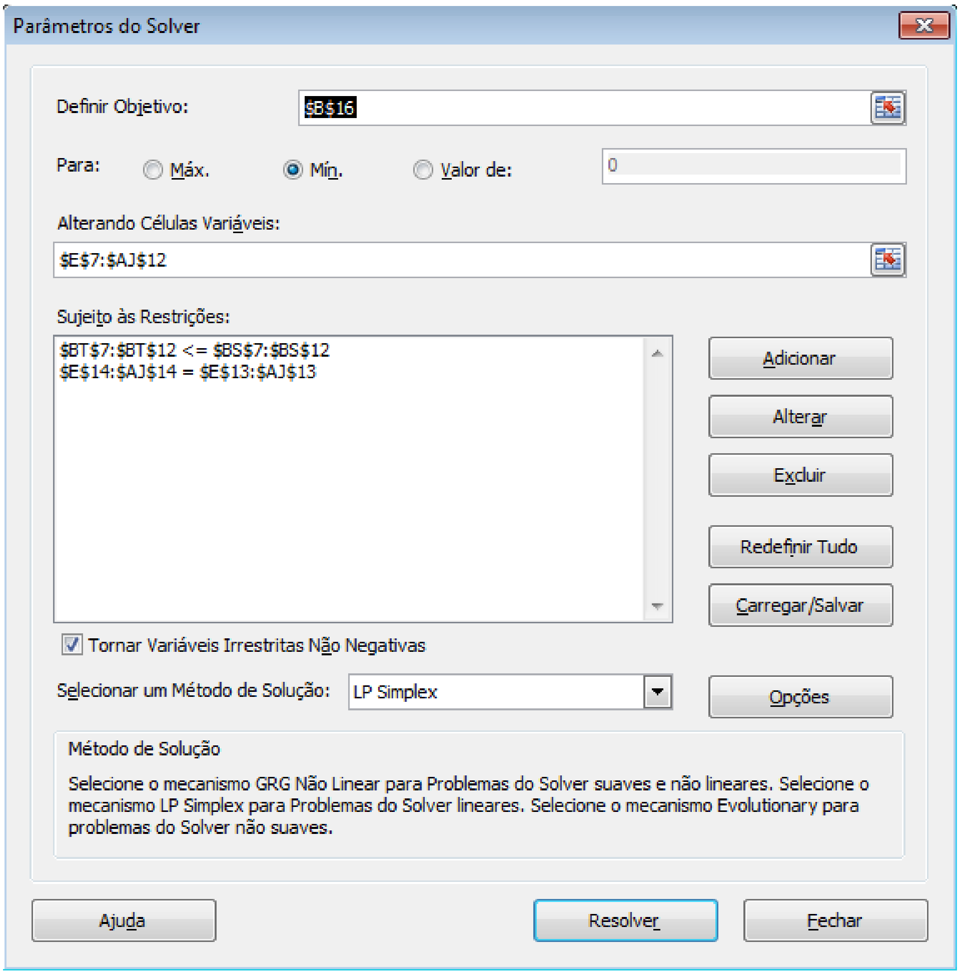

Figura 6 - Solver Cenário 3

Igualmente aos cenários anteriores, para o cenário 3, a função objetivo é a soma produto da quantidade de produtos alocadas em cada operação pelo custo total da mesma, sujeito a:

- Produção total <= Restrições de produção (capacidade máxima de produção);

- Demanda atendida = Demanda solicitada

Para esse cenário, a capacidade produtiva foi definida de acordo com a empresa:

Tabela 19 - Capacidade produtiva Cenário 3

		Capacidade
Barrow	Period 1	10500
	Period 2	9500
Cliffe	Period 1	12000
	Period 2	8200
Poole	Period 1	25000
	Period 2	12000

Os resultados obtidos nas alocações foram:

Tabela 20 - Resultados Cenário 3

Site/Customer		Barrow		Cliffe		Poole		Demand
Period		Period 1	Period 2	Period 1	Period 2	Period 1	Period 2	
RG	Period 1	0	0	0	0	2472	0	2472
	Period 2	0	0	0	0	10304	0	10304
CF	Period 1	0	0	0	0	493	0	493
	Period 2	0	0	0	0	1459	0	1459
WD	Period 1	478	0	0	0	0	0	478
	Period 2	0	756	0	0	0	0	756
NP	Period 1	0	0	0	0	965	0	965
	Period 2	0	0	0	0	647	0	647
HP	Period 1	1844	0	0	0	0	0	1844
	Period 2	0	3671	0	0	0	0	3671
LU	Period 1	346	0	0	0	0	0	346
	Period 2	941	0	0	0	0	0	941
CB	Period 1	0	0	1528	0	0	0	1528
	Period 2	0	0	0	3503	0	0	3503
SG	Period 1	331	0	823	0	0	0	1154
	Period 2	0	0	193	4697	0	0	4890
AL	Period 1	0	0	221	0	0	0	221
	Period 2	0	0	1834	0	0	0	1834
BN	Period 1	0	0	0	0	798	0	798
	Period 2	0	0	0	0	0	5003	5003
OX	Period 1	0	0	0	0	898	0	898
	Period 2	2925	5073	0	0	0	0	7998
GU	Period 1	0	0	0	0	2320	0	2320
	Period 2	0	0	0	0	0	4512	4512
NR	Period 1	0	0	2023	0	0	0	2023
	Period 2	0	0	5378	0	0	0	5378
SA	Period 1	0	0	0	0	113	0	113
	Period 2	568	0	0	0	0	0	568
GL	Period 1	389	0	0	0	423	0	812
	Period 2	2678	0	0	0	0	0	2678
SN	Period 1	0	0	0	0	785	0	785
	Period 2	0	0	0	0	1502	2485	3987
Produção		10500	9500	12000	8200	23179	12000	

O custo total obtido na função objetivo foi:

Tabela 21 - Custo Total Cenário 3

Total cost
£4.533.706,93

1.15 RESULTADOS

Os resultados obtidos na otimização dos cenários foram comparados com os parâmetros atuais de distribuição que a empresa operacionaliza a fim de identificar possibilidades de melhorias, propor mudanças operacionais e verificar a quantidade de economia e benefícios gerados a partir da nova alocação de recursos. Para todos os cenários, os custos totais são calculados a partir da soma produto da quantidade unitária alocada com o custo de distribuição cada unidade.

Cenário 1: 1 produto, 3 sites de produção e 63 clientes

Após as alocações, os clientes do cenário um passaram a ser atendidos da seguinte maneira:

Tabela 22 - Fornecedores ótimos Cenário 1

Código do Distrito	Fornecedor atual	Fornecedor Ótimo	Código do Distrito	Fornecedor atual	Fornecedor Ótimo
AL	Cliffe	Cliffe	N	Cliffe	Cliffe
BA	Poole	Poole	NN	Barrow	Barrow
BH	Poole	Poole	NP	Poole	Poole
BN	Cliffe	Cliffe	NR	Cliffe	Cliffe
BR	Cliffe	Cliffe	NW	Cliffe	Cliffe
BS	Poole	Poole	OX	Poole	Barrow
CB	Cliffe	Cliffe	PE	Cliffe	Barrow
CF	Poole	Poole	PL	Poole	Poole
CM	Cliffe	Cliffe	PO	Poole	Poole
CO	Cliffe	Cliffe	RG	Cliffe	Cliffe
CR	Cliffe	Cliffe	RH	Cliffe	Cliffe
CT	Cliffe	Cliffe	RM	Cliffe	Cliffe
DA	Cliffe	Cliffe	SA	Poole	Barrow
DN	Barrow	Barrow	SE	Cliffe	Cliffe
DT	Poole	Poole	SG	Cliffe	Cliffe
E	Cliffe	Cliffe	SL	Cliffe	Cliffe
EN	Cliffe	Cliffe	SM	Cliffe	Cliffe
EX	Poole	Poole	SN	Poole	Poole
FK	Barrow	Barrow	SO	Poole	Poole
GL	Cliffe	Barrow	SP	Cliffe	Poole
GU	Cliffe	Cliffe	SS	Cliffe	Cliffe
HA	Cliffe	Cliffe	SW	Cliffe	Cliffe
HP	Cliffe	Cliffe	TA	Poole	Poole
HR	Cliffe	Barrow	TN	Cliffe	Cliffe
IG	Cliffe	Cliffe	TQ	Poole	Poole
IP	Cliffe	Cliffe	TR	Poole	Poole
KT	Cliffe	Cliffe	TS	Barrow	Barrow
LD	Poole	Barrow	TW	Cliffe	Cliffe
LN	Barrow	Barrow	UB	Cliffe	Cliffe
LU	Cliffe	Cliffe	W	Cliffe	Cliffe
ME	Cliffe	Cliffe	WD	Cliffe	Cliffe
MK	Cliffe	Barrow			

Com essas mudanças, o custo total de distribuição logística passou de GBP 14.765.636,15 anuais para GBP 14.613.458,69 anuais, gerando uma economia potencial de GBP 152.177,46 anualmente.

Pode ser visualizado abaixo os impactos de economia potencial, em milhões, das mudanças propostas através da otimização:

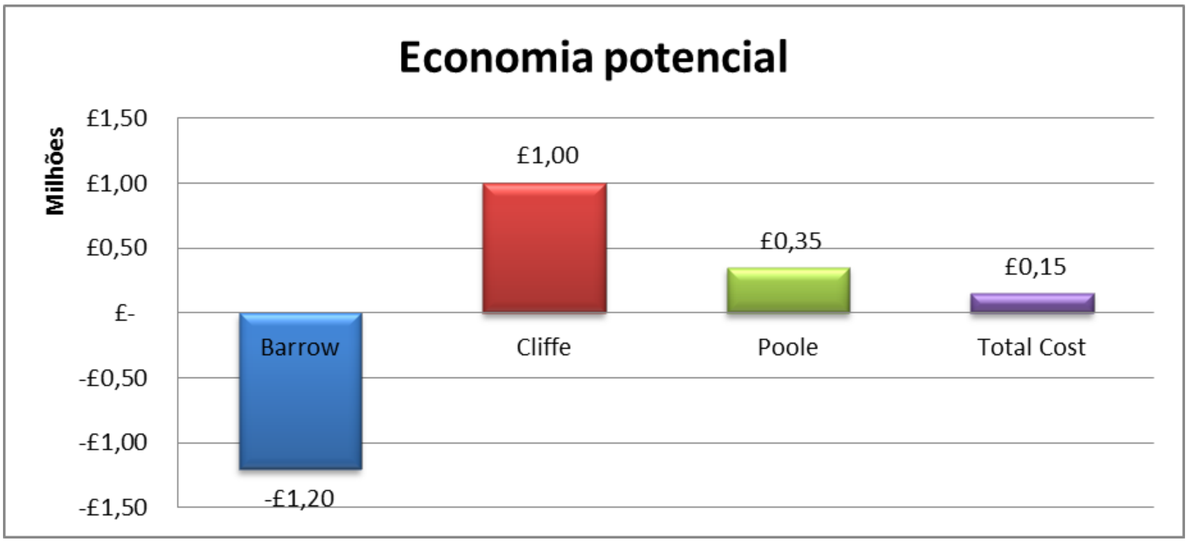

Figura 7 - Gráfico economia potencial cenário 1

Cenário 2: 2 produtos, 3 sites de produção e 16 clientes

Após as alocações, os clientes do cenário 2 passaram a ser atendidos da seguinte maneira:

Tabela 23 - Fornecedores ótimos Cenário 2

Código do Distrito	Fornecedor atual	Fornecedor ótimo
RG	Cliffe	Poole
CF	Barrow	Poole
WD	Cliffe	Barrow
NP	Poole	Barrow
HP	Cliffe	Barrow
LU	Cliffe	Barrow
CB	Cliffe	Cliffe & Barrow
SG	Cliffe	Cliffe
AL	Barrow	Cliffe
BN	Barrow	Cliffe & Poole
OX	Poole	Barrow
GU	Cliffe	Cliffe
NR	Cliffe	Cliffe
SA	Poole	Barrow
GL	Cliffe	Barrow
SN	Poole	Poole

Com essas mudanças, o custo total de distribuição logística passou de GBP 4.193.988,54 anuais para GBP 4.152.528,47 anuais, gerando uma economia potencial de GBP 41.460,06 anualmente.

Cenário 3: 1 produto, 3 sites de produção, 2 períodos e 16 clientes

Após as alocações, os clientes do cenário 3 passaram a ser atendidos da seguinte maneira:

Tabela 24 - Cenário 3 cliente x fornecedor

Código do Distrito	Fornecedor atual	Fornecedor ótimo
RG	Cliffe	Poole
CF	Barrow	Poole
WD	Cliffe	Cliffe
NP	Poole	Poole
HP	Cliffe	Cliffe & Poole
LU	Cliffe	Cliffe
CB	Cliffe	Barrow
SG	Cliffe	Barrow
AL	Barrow	Barrow
BN	Barrow	Cliffe
OX	Poole	Poole
GU	Cliffe	Cliffe
NR	Cliffe	Cliffe & Barrow
SA	Poole	Barrow
GL	Cliffe	Poole
SN	Poole	Poole

Com essas mudanças, o custo total de distribuição logística, calculado a partir da soma produto do custo unitário de alocação com a quantidade alocada, passou de GBP 4.539.057,59 anuais para GBP 4.533.706,93 anuais, gerando uma economia potencial de GBP 5.350,66 anualmente.

De forma resumida, pode-se observar que cada uma das otimizações obtiveram economias após a aplicação dos métodos de programação linear. Ao operacionalizar o negócio com as sugestões de melhoria propostas nas otimizações, assumindo o valor de seis reais por libra (aproximação de dado do Banco Central do Brasil), a empresa teria uma economia potencial de GBP 198.988,2 anuais, o que significa, aproximadamente R$ 1.136.222,51 anuais.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal implantar um modelo de otimização da distribuição logística de uma empresa. A empresa em questão apresenta uma operação complexa e em grande escala, além de estar inserida em um mercado extremamente competitivo com clientes exigentes, fatores que tornam a alocação de recursos um elemento crucial para o bom desempenho do negócio.

Diante desse contexto, a otimização, através da programação linear, mostra-se uma ferramenta muito importante a ser estudada e utilizada em situações com essas características, visto que contempla as restrições da organização e prevê uma forma otimizada de operacionalizar, através de possíveis mudanças identificadas. A otimização aplicada neste projeto se mostrou eficiente em todas as simulações, uma vez que apontou as alocações ótimas de recursos, gerando economias e melhoria de performance.

Apesar da adaptação necessária às restrições do software Microsoft Office Excel Solver® versão padrão, obteve-se uma economia potencial de aproximadamente R$ 1.136.222,51 anuais após as otimizações. Diante disso, acredita-se que através da aplicação de algum método que não apresente limites de células de decisão e restrições, seja possível obter melhores resultados devido a possibilidade de realizar a otimização com um número maior de produtos, períodos e clientes. Adicionalmente, acredita-se que uma ferramenta que suporte um maior número de células variáveis viabilize a otimização de sistemas produtivos através da utilização de um planejamento agregado de produção, considerando vários produtos, períodos e clientes (*Master Production Scheduling*).

As metodologias aplicadas aqui ressaltam a abrangência que métodos de otimização possuem, não se limitando a somente um nicho mercadológico, podendo ser aplicados e utilizados como ferramenta de definição operacional nos mais diversos ramos de produtos comercializados e serviços entregues.

Constatou-se também, que o objetivo de identificar e avaliar as variáveis do cenário atual de uma empresa e determinar uma distribuição logística otimizada por meio da utilização de ferramentas de pesquisa operacional foi atingido. Além de definir um cenário de distribuição logística otimizado a partir do custo mínimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRATLEY Paul, FOX Bennet L., SCHRAGE Linus E. A **Guide to Simulation**, Second Edition. New York, Springer – Verlag, 1987.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada**. São Paulo: Atlas, 2001.

CORRÊA, H. L. & CORREA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços**. São paulo: atlas, 2004.

CORRAR, L.; THEÓPHILO, C. **Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração. Traducao** . São Paulo: Atlas, 2008

Cscmp.org,. Homepage | Council of Supply Chain Management Professionals. Disponível em: <https://cscmp.org/>. Acesso em: 10 out. 2015.

FORD, L. R. e FULKERSON, D. R. (1962**). Flows in Network**. Princeton University Press, Princeton

GOLDBARG, Marco Cesar.; LUNA, Henrrique P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HARRINGTON, James. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993.

HERRMANN, J. **Handbook of operations research for homeland security**. Traducao . New York: Springer, 2013.

HILLER, Frederick S. **Introdução a Pesquisa Operacional**. 8 ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

HU, T.C. (1963). **Multicommodity network flows**. Operations Research, v. 11, p. 344–360. LARSSON, T. e YUAN, D. (2004). **An augmented lagrangian algorithm for large scale multicommodity routing. Computational Optimization and Applications**, v. 27, p. 187–215.

Jeffrey W. Herrmann, The legacy of Taylor, Gantt, and Johnson: How to improve production scheduling, The Institute for systems research, ISR Technical report, 2007-26.

KRAJEWSKI, L. J. & RITZMAN, L. P., **Operations management, strategy and analysis**, 5a Ed., Addison-Wesley, Reading, MA, 1999.

Krieger.jhu.edu,. **Writing Center | Johns Hopkins University**. Disponível em: <http://krieger.jhu.edu/writingcenter>. Acesso em: 20 out. 2015.

KONAGANO, K. S. H.; LIMA, R. do. N. P.; SANTOS, Y. B. I.; MORAES, M. de. S. O. **Aplicação da programação linear para a utilização otimizada de recursos disponíveis em uma empresa de produção de camarão**. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18, 2011, Bauru. Anais... XVIII SIMPEP, 2011.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3rd ed. New York: McGraw Hill, 2000.

LUSTOSA, L.; NANCI, L. C. **Planejamento Agregado e Planejamento Mestre da Produção**. In: LUSTOSA, L. et al. Planejamento e Controle da Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 101-140.

MAHESH NAGARAJAN e S. RAJAGOPALAN, **A multiperiod model of inventory competition**, Marshall School of Business Working Paper No. IOM 18-09

MOREIRA, Daniel Augusto**. Administração da produção e operações**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2009

NARASIMHAN, S. L.; McLEAVEY, D.W; BILLINGTON, P. J. **Production Planning and Inventory Control**. 2nd ed. [S.l]: Prentice Hall, 1995.

PINTO, Orlando P.F.J. **Simulação e otimizaçào: Desenvolvimento de uma ferramenta de análise de decisão para suprimento de refinarias de petróleo através de uma rede de oleodutos.** Dissertação de Mestrada. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SLACK, Nigel. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 2009.

STRACK, J. **GPSS: modelagem e simulação de sistemas**. Rio de Janeiro : LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 174p , 1984.

TUBINO, D. F. ***Planejamento e controle da produção: teoria e prática***. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 190 p.