Universidade do Minho

2ºSemestre

2020/21 (MIEI, 3ºAno)

Modelos Estocásticos de Investigação Operacional

Trabalho Prático

(Problema de Gestão de Inventários)

Identificação do Grupo

Número:	*Nome completo:*	*Rubrica:*
A89589	Ana Filipa Rodrigues Pereira	AFR
A89500	Carolina Gil Afonso Santejo	[illegible]
A89464	Raquel Sofia Miranda da Costa	[illegible]
A89477	Sara Alexandra Gomes Marques	Sara Marques

Data de entrega: 2021-04-26

UNIVERSIDADE DO MINHO

MESTRADO INTEGRADO DE ENGENHARIA INFORMÁTICA

TRABALHO PRÁTICO

Gestão de Inventários

Modelos Estocásticos de Investigação Operacional
2º Semestre – 2020/21

Braga, abril de 2021

Autores:

(Grupo 46)

Ana Filipa Pereira A89589

Carolina Santejo A89500

Raquel Costa A89464

Sara Marques A89477

Índice

Índice de Figuras

Introdução

Este trabalho prático da cadeira de MEIO, consistiu na resolução de três questões relativas a várias políticas de gestão de stocks que podiam ser adotadas pela empresa de distribuição de café, Café&Afins.

Ao longo do projeto, são aplicados os conhecimentos adquiridos ao longo das aulas teóricas e práticas, de forma a ser possível, não só, obter os parâmetros da política atual da empresa e os parâmetros das políticas alternativas, mas também implementar um modelo de simulação do funcionamento do sistema de gestão pretendido para o ano de 2021.

Descrição e Formulação do Problema

A Café&Afins é uma empresa que importa café do Brasil e que o distribui por vários países da Europa, sendo que as vendas da empresa têm aumentado significativamente nos últimos três anos.

A política praticada pela Café&Afins é uma política de nível de encomenda, mas que tem gerado alguns problemas nomeadamente pelo facto de que em alguns períodos o stock é demasiado alto, mas, por vezes, o fornecedor atrasa-se na entrega e o café não chega para as encomendas.

Desta forma, a empresa pretende adotar uma nova política (s,S), semelhante à política de ciclo de encomenda. No entanto, após um período de 4 semanas, é averiguado se é necessário ou não efetuar uma nova encomenda. Além disto, o prazo de entrega pode ser de uma, duas ou três semanas, sendo 0.26, 0.6 e 0.14 as respetivas probabilidades.

Ao longo do enunciado, são disponibilizadas várias informações importantes para a resolução do trabalho, nomeadamente o custo de transporte, preço de compra do café ao fornecedor, a taxa de juro anual, o custo de quebra, entre outros.

É de realçar que nas questões 1 e 2, o grupo, após verificar o comportamento da procura ao longo das 50 semanas de 2018, 2019 e 2020, considerou a existência de época alta e época baixa.

Assim, o objetivo deste trabalho prático consiste em comparar a política atual praticada pela empresa com a política ótima de nível de encomenda e com os parâmetros ótimos da nova política (s,S).Além disto, é pedido também que se efetue várias simulações de forma a determinar os parâmetros ótimos da política (s,S),em várias situações, como por exemplo, numa situação de minimização de custo, ou de maximização de nível de serviço.

Para a resolução das questões, o grupo recorreu ao *Excel,* para efetuar os cálculos nas questões 1 e 2, e para efetuar o modelo de simulação na questão 3.

Q1: Política Nível de Encomenda

Para esta questão foi pedido que se estimasse analiticamente os valores dos parâmetros da política nível de encomenda que teriam sido mais adequados para o ano 2020, e que se calculasse quanto é que a empresa poderia ter poupado em custos e/ou evitado em quebras de *stock* nesse mesmo ano se esta tivesse adotado parâmetros mais racionais na sua política de gestão.

Política de Gestão Atual

A política atual de gestão de stocks praticada pela empresa *Café&Afins* é uma política de nível de encomenda. Através da análise do gráfico da variação da procura ao longo das 50 semanas, foi possível determinar a existência de uma época alta e uma época baixa. A época alta tem duração de 24 semanas e dura desde a semana 23 à 46 (inclusive). A época baixa tem duração de 26 semanas e dura desde a semana 1 à semana 23 (inclusive) e desde a semana 47 à 50 (inclusive).

Figura 1 - Valores da procura 2020

Para efetuar os cálculos relativos à DDLT para cada época, o grupo recorreu às fórmulas:

$$\mu_{DDLT} = rl \qquad \sigma^2_{DDLT} = l\sigma^2_r + r^2\sigma^2_l$$

O valor esperado da procura para a época alta e para a época baixa é calculado através da média dos valores das procuras durante as semanas da época respetiva. Por outro lado, aproximamos a procura a uma distribuição normal.

LT	Probabilidade	
1	0,26	
2	0,6	
3	0,14	
µLT	**1,88**	**≈ 2**
σLT	**0,816496581**	**≈ 1**
		semanas

Figura 2 - Prazo de Entrega e probabilidades

O valor médio do prazo de entrega é calculado pela da seguinte forma: 1*0,26 + 2*0,6 + 3*0,14. O desvio padrão é o desvio padrão entre os valores 1, 2 e 3.

De modo a obter $E[DDLT > S]$ para calcular o valor do Custo Total, foi necessário estimar o valor de Z. Para tal usamos a fórmula: $S = \mu_{DDLT} + Z\sigma_{DDLT}$

Uma vez que já conhecemos o S (=1200) e também já conhecemos $\mu DDLT$ e $\sigma DDLT$, podemos retirar o valor de Z. Depois com base na tabela da Distribuição Normal consultamos o valor de N, e consequentemente do 2º integral. Sendo assim, com este valor e o do $\sigma DDLT$, podemos usar a seguinte fórmula:

$$E[DDLT > S] = 2^{\circ}\text{integral} \times \sigma_{DDLT}$$

Obtendo, desta forma, o valor da esperança do volume de quebra durante o prazo de entrega, para finalmente calcular o custo total. Que por sua vez recorremos ao auxílio da fórmula:

$$C = C_1\left(\frac{q}{2} + S - \mu_{DDLT}\right) + C_2\frac{r}{q}\mathrm{E}[DDLT > S] + C_3\frac{r}{q}$$

Época Baixa ≈ 26 semanas		
Considerando q em ambas as épocas:		
q	1700	
Z	1,13565	
N	37,8548 ≈ 38	
P[DDLT>S]	0,12579	
2º integral	0,06049	
E[DDLT>S]	21,1694	
Custo Total		
1009,037068		
Nº de artigos em quebra		
5,315829927	≈	5

Época Alta ≈ 24 semanas		
Considerando q em ambas as épocas:		
q	1700	
Z	0,13958	
N	4,65275 ≈ 5	
P[DDLT>S]	0,43903	
2º integral	0,32422	
E[DDLT>S]	159,418	
Custo Total		
2992,38603		
Nº de artigos em quebra		
56,43329842	≈	56

Num ano, isto é, 50 semanas:	
CT	98052,2 €
Nº de artigos em quebra	1492,61 ≈ 1493

No final de aplicar o raciocínio para ambas as épocas, multiplicamos o custo da época baixa por 26 e o da época alta por 24, e somamos, obtendo assim o custo total anual para o ano 2020 usando a política atual. Em relação aos artigos em quebra aplicamos a mesma técnica.

Novos valores para a política

Para o cálculo dos parâmetros ótimos da política nível de encomenda alternativa, foram utilizadas as fórmulas do QEE, da probabilidade ótima de quebra e da esperança do volume em quebra durante o prazo de entrega.

$$q^* = \sqrt{\frac{2r(C_2\mathrm{E}[\mathrm{DDLT} > \mathrm{S}] + C_3)}{C_1}} \qquad \mathrm{P}^*[DDLT > S] = \frac{C_1 q^*}{C_2 r} \qquad E[DDLT > S] = 2^{\circ}\text{integral} \times \sigma_{DDLT}$$

Neste exercício, foi necessário recorrer a iterações para o cálculo dos valores ótimos de q, P[DDLT>S] e E[DDLT>S], para cada uma das épocas, sendo que na primeira iteração faz-se uma aproximação do q pela fórmula do QEE.

Época Baixa ≈ 26 semanas		Época Alta ≈ 24 semanas	
1ª Iteração		**1ª Iteração**	
QEE	1926,665558	QEE	2287,568806
P[DDLT>S]	0,040976166	P[DDLT>S]	0,034511473
N	58	N	61
Z	1,74	Z	1,83
E[DDLT>S]	5,075459267	E[DDLT>S]	5,544351692
S	1411,514216	S	2031,169667
2ª Iteração		**2ª Iteração**	
q	2046,784794	q	2442,944531
P[DDLT>S]	0,043530852	P[DDLT>S]	0,036855553
N	57	N	60
Z	1,71	Z	1,8
E[DDLT>S]	5,505238882	E[DDLT>S]	6,037521677
S	1401,014714	S	2016,41882
3ª Iteração		**3ª Iteração**	
q	2056,634085	q	2456,289242
P[DDLT>S]	0,043740326	P[DDLT>S]	0,037056878
N	57	N	59
Z	Processo convergiu	Z	1,77
E[DDLT>S]		E[DDLT>S]	6,565602
S		S	2001,667973
4ª Iteração		**4ª Iteração**	
q	-	q	2470,498676
P[DDLT>S]	-	P[DDLT>S]	0,037271249
N	-	N	59
Z	-	Z	Processo convergiu
E[DDLT>S]	-	E[DDLT>S]	
S	-	S	

Nível de Serviço	**Nível de Serviço**
95,63%	96,27%
Custo total	**Custo total**
916,0114662	1152,575534
Nº artigos em quebra	**Nº artigos em quebra**
1,142693212 ≈ 1	1,599322692 ≈ 2

Num ano, isto é, 50 semanas:	
CT	51478,11093 €
Nº artigos em quebra	68,0937681 ≈ 68

Os valores de S (nível de encomenda) são calculados usando a fórmula:

Para o cálculo do custo anual, bastou somar o custo da política durante as 26 semanas da época baixa, com o custo da política durante as 24 semanas da época alta.

O cálculo do número de artigos em quebra anualmente calculou-se somando o número de artigos em quebra durante a época alta (24* NumQuebras/semana) com o número de artigos em quebra durante a época baixa (26* NumQuebras/semana).

Comparação de Resultados

Concluímos, portanto, que a política atual terá um custo total de 98052,23€, e 1493 artigos em quebra por ano. Por seu lado, ao adotar melhores parâmetros para a sua política de gestão, este custo desce para cerca de 51470,11€ por ano, e apenas 68 artigos em quebra, melhorando exponencialmente o nível de serviço. Será então possível poupar 46582,12€ por ano e evitar a quebra de 1425 artigos com a alteração dos parâmetros da política de gestão nível de encomenda atual.

Q2: Política (s,S) – Regressão Linear

Nesta questão, foi pedido que se estimasse analiticamente os parâmetros da política (s,S).Foi preciso considerar para os valores da procura semanal no ano 2021, uma estimativa que consiste na extrapolação do valor segundo uma regressão linear dos valores médios homólogos verificados nos últimos anos.

É realçar que, para este exercício, o grupo considerou a existência de épocas altas e de épocas baixas, ao longo das 50 semanas de cada ano.

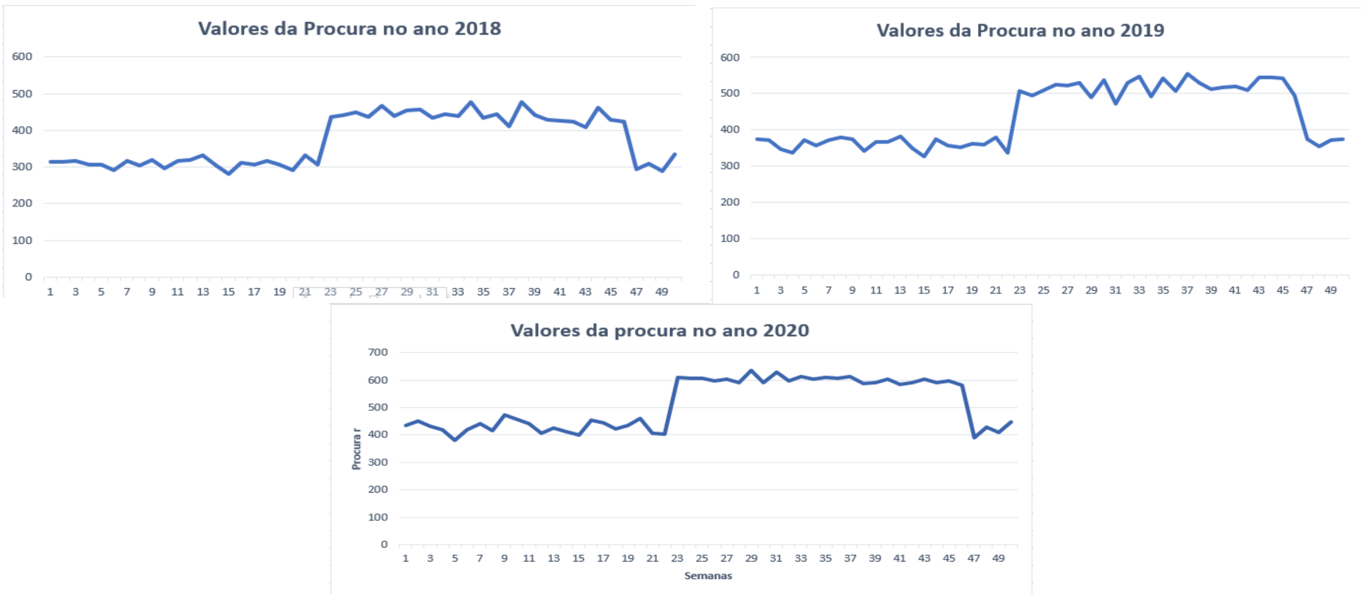

Figura 3 - Valores da Procura nos anos 2018, 2019, 2020

Analisando os gráficos com a procura semanal para os anos 2018,2019 e 2020, podemos admitir que a época alta ocorre entre as semanas 23 e 46 (inclusive), e a época baixa ocorre entre as semanas 1 e 22 (inclusive) e entre as semanas 47 a 50 (inclusive). Com isto, consideramos que a época alta e baixa em 2021 terá um comportamento semelhante.

Posto isto, foi necessário efetuar duas regressões lineares para estimar a procura semanal para 2021, na época baixa e alta, tendo em conta as médias das procuras em cada época nos anos anteriores. Para as épocas temos as seguintes médias:

	Procura
2018	441,20833
2019	520,20833
2020	601,79167

Figura 4 - Médias da procura semanal na época alta

	Procura
2018	308,96154
2019	362,34615
2020	426,88462

Figura 5 - Médias da procura semanal na época baixa

Com estes valores da procura média semanal, conseguimos efetuar duas regressões lineares, uma para a época alta e outra para a época baixa.

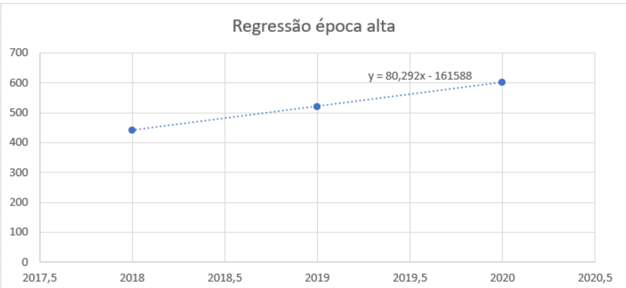

Figura 6 - Regressão linear da época alta

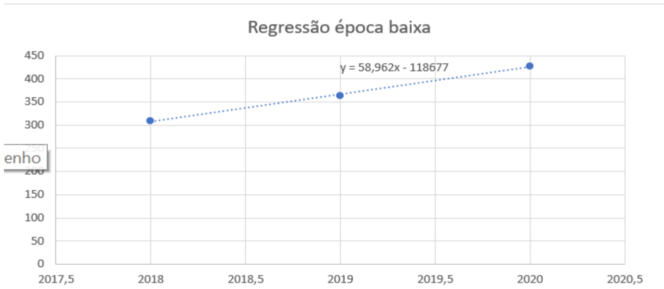

Figura 7 - Regressão linear da época baixa

Para o cálculo do desvio padrão, foi utilizada a seguinte fórmula: $\sigma r = \frac{\sqrt{\sum(X - X\prime)^2}}{\mathrm{N}}$, na qual X corresponde ao valor da procura média num dado ano, X' corresponde ao valor da procura nesse ano estimado pela regressão e N corresponde ao tamanho da amostra.

Valores estimados da regressão
441,256
521,548
601,84

Figura 8 - Valores da procura estimados pela regressão da época alta (para os anos 2018,2019 e 2020)

Valores estimados pela regressão
308,316
367,278
426,24

Figura 9 - Valores da procura estimados pela regressão da época alta (para os anos 2018,2019 e 2020)

Assim sendo, as previsões das procuras para o ano de 2021 serão:

Para a época alta:

$$E[r] = 80{,}292 * 2021 - 161588 = 682{,}132$$

$$\sigma r = \frac{(441{,}20833 - 441{,}256)^2 + (520{,}20833 - 521{,}548)^2 + (601{,}79167 - 601{,}84)^2}{3} = 0{,}774449267$$

Para a época baixa:

$$E[r] = 58{,}962 * 2021 - 118677 = 485{,}202$$

$$\sigma r = \frac{(308{,}96154 - 308{,}316)^2 + (362{,}34615 - 367{,}278)^2 + (426{,}88462 - 426{,}24)^2}{3} = 2{,}895706902$$

Visto que a política (s,S), que prossupõe um ciclo de 4 semanas, é semelhante à política de ciclo de encomenda, foi necessário calcular a procura durante o período de planeamento e o respetivo desvio padrão, usando as fórmulas disponibilizadas nos apontamentos da cadeira.

$$\mu_{DDPP} = r(t+l)$$
$$\sigma^2_{DDPP} = (t+l)\sigma_r^2 + r^2\sigma_l^2$$

Para a época alta:

$\mu DDPP \ = \ 682{,}132 \ * (4 + 1.88) \ =$ 4010,93616 unidades

$\sigma DDPP \ = \ (4 + 1{,}88) * \ (0{,}77445)^{\ 2} \ + \ (682{,}132)^{\ 2} \ * \ (0{,}8164965)^{\ 2} \ =$ 556,9616117 unidades

Para a época baixa:

$\mu DDPP \ = \ 485{,}202 \ * (4 + 1.88) \ =$ 2852,98776

$\sigma DDPP \ = \ (4 + 1{,}88) * \ (2{,}89571)^{\ 2} \ + \ (485{,}202)^{\ 2} * \ (0{,}8164965)^{\ 2} \ =$ 396,2279963

Nota: Nestes cálculos, utiliza-se os valores do prazo de entrega e do respetivo desvio padrão calculados anteriormente.

Na nova política (s,S), a empresa pretende que não haja, em média, mais do que uma situação de quebra de *stock* a cada dois anos.

Para o cálculo das probabilidades, o grupo recorreu a dois métodos distintos, sendo que obtivemos os mesmos resultados.

Primeiramente, e visto que um ciclo são 4 semanas, podemos concluir que 2 anos possui 25 ciclos, duas épocas altas são 12 ciclos (uma época alta são 24 semanas), e duas épocas baixas são 13 ciclos (um ano tem duas épocas baixas com uma duração total de 26 semanas).

Desta forma, a probabilidade de existir no máximo uma quebra em dois anos é igual a:

P = $\frac{1}{\frac{2*50}{4}}$ = 0,04

Assim sendo, temos:

Para a época alta:

$P[DDPP > s] = \ 0{,}04$

$N = \ 58 \ (pela\ tabela\ da\ distribuição\ normal)$

$Z \ = \frac{3*N}{100} \ = \ 1{,}74$

s = $\mu_{DDPP} + Z\sigma_{DDPP}$ 1,74 $*$ 556,9616117 = 4980 unidades -> nível de encomenda

S = $\sqrt{\frac{2rC_3}{C_l}} + s - \frac{rt}{2}$ = $\sqrt{\frac{2*682{,}132 * 1500}{0{,}345}} + \ 4980 \ - \ \frac{682{,}132 * 4}{2} \ = \ 6051 \ unidades$ -> nível de referência

q = $S - s + rt/2$ = = $6051 \ - \ 4980 + \frac{682{,}132*4}{2}$ = 2435 unidades/encomenda

$E[DDPP > s] = 2º\,integral * \sigma DDPP = 0{,}014502 * 556{,}9616117 = 8{,}077057293$ unidades em quebra/ciclo

CT = $C_1(S - rl - rt/2) + C_2(1/t)E[DDPP > S] + C_3(1/t)$ $0{,}345 * (3542 - 485{,}202 * 1{,}88 - \frac{485{,}202*4}{2}) + 38 * (\frac{1}{4} * 2{,}13567) + 1500 * (\frac{1}{4})$ = 1002,232981 €/semana

Nº de unidades em quebra = $\frac{1}{t} * E[DDPP > s]$ = 1,4365246 ≈ 1 quebras/ciclo

Nível de serviço = 1- P [DDPP>s] = 1- 0,04 = 96%

Assim sendo, no período de um ano (50 semanas) temos:

Custo Total = CustoSemanalÉpocaAlta * DuraçãoÉpocaAlta + CustoSemanalÉpocaBaixa * DuraçãoÉpocaBaixa

Custo Total = 1256,74718 * 24 + 1002,232981 *26 = 56219,98982 €/ano

Nível de Serviço = 1- ProbilidadeQuebraEmDoisAnos = 1- 0,04 = 0,96 = 96%

Nº de quebras = $\frac{NumeroSemanasEpocaAlta}{t} * quebrasPorCicloEpocaAlta \quad \frac{NumeroSemanasEpocaAlta}{t} * quebrasPorCicloEpocaAlta$

Nº de quebras = $\frac{24}{4} * 8{,}077057293 + \frac{26}{4} * 5{,}746098402$ = 21,453 artigos em quebra/ano

Q3: Modelo de Simulação do Funcionamento do Sistema para o ano 2021

Nesta questão foi pedida a implementação de um modelo de simulação do funcionamento do sistema de gestão pretendido e a sua simulação para conjuntos alternativos dos valores dos parâmetros s e S.

Modelo de Simulação

Com recurso à ferramenta Microsoft Excel, foi realizado, numa folha de cálculo, um modelo de simulação que relaciona cada semana do ano 2021 com os diversos valores relevantes, que contribuirão para analisar os resultados da política (s, S) segundo valores de s e S escolhidos.

Em primeiro lugar foi elaborada uma tabela de procuras que tem como objetivo prever a procura do ano em questão (2021), baseando-se no histórico de procuras dos anos anteriores (2018, 2019 e 2020). Para cada semana, é calculada a média e desvio padrão dos valores da procura nos anos anteriores. Com estes dados estatísticos será assim possível calcular um valor aleatório utilizando a função INV.NORMAL, como sugerido no enunciado, em que o primeiro argumento será uma probabilidade aleatória no intervalo $[0,1[$. Desta forma, fomos capazes de antever a procura de todas as semanas do ano.

Procuras em cada ano				
Semana	2018	2019	2020	2021 (Previsão)
1	314	374	433	376,0
2	314	372	451	302,8
3	318	347	430	385,5
4	307	338	420	335,7
5	306	371	379	313,5
6	292	358	418	346,8
7	317	372	441	378,9
8	303	380	414	393,8
9	320	374	473	381,1
10	296	343	458	333,4
11	317	366	441	294,6
12	319	367	407	364,7
13	332	383	426	435,2
14	303	349	411	371,1
15	281	327	400	346,6
16	312	375	454	446,5
17	306	357	443	332,6
18	317	352	421	407,7
19	307	363	434	360,3
20	291	359	460	287,9
21	331	380	406	378,4
22	307	338	403	413,0
23	436	507	610	428,1
24	442	494	606	524,5
25	449	509	605	529,1
26	436	525	598	486,9
27	467	522	604	478,2
28	440	530	589	528,9
29	455	491	636	495,7
30	457	538	592	608,8
31	435	473	630	499,4
32	445	530	597	383,6
33	439	547	614	494,8
34	478	493	604	545,7
35	433	542	610	636,2
36	444	508	605	538,8
37	410	555	614	484,4
38	478	531	588	414,3
39	442	513	590	533,2
40	429	517	604	734,8
41	426	519	585	622,1
42	424	511	591	494,1
43	408	545	602	629,5
44	462	546	591	480,0
45	430	543	596	649,7
46	424	496	582	465,9
47	293	375	391	406,1
48	308	355	428	393,8
49	288	371	409	374,1
50	334	375	448	346,1
				443,86

Figura 10 - Previsão das procuras segundo o histórico

Sabendo os valores de s e S e das procuras foi posteriormente construída a tabela que para cada semana i, calcula os valores seguintes:

- **Stock inicial, final e médio**

Como não temos qualquer informação sobre quantidades de stock, para a primeira semana é calculado o stock inicial como sendo um valor aleatório entre s e S. No caso das semanas seguintes é utilizado como stock inicial o final da semana anterior e, caso haja encomendas, é adicionada a quantidade encomendada.

$$stock\ inicial\ (1) = ALEATÓRIOENTRE(s; S)$$

$$stock\ inicial(i) =$$

$$stock\ final(i-1) + SE(espera(i-1) = 1; quant.a\ encomendar(i); 0)$$

Quanto ao stock final, é dado pela diferença entre o inicial e a quantidade vendida (vendas).

$$stock\ final(i) = stock\ inicial(i-1) + vendas(i)$$

Para o stock médio, que é a quantidade de produto que o armazém possui em média na semana, é feita a média entre o stock inicial e final.

$$stock\ medio(i) = \ MÉDIA(stock\ inicial(i); stock\ final(i))$$

- **Procura e vendas**

A procura é dada pelo valor correspondente da tabela das procuras referida anteriormente somado com 60% da quantidade em quebra da semana anterior. Isto deve-se ao facto de no enunciado referir que nos casos em que o stock se esgota, cerca de 40% das encomendas são canceladas, logo isto significa que as outras 60% estão dispostas a esperar até que haja produto. Sendo assim a procura será maior do que a prevista inicialmente.

$$procura(i) = procura\ esperada(i) + 0{,}6 * quantidade\ em\ quebra(i)$$

Para as vendas considerou-se que foi satisfeita a procura, ou seja, a quantidade vendida é igual à quantidade procurada, nos casos em que há stock suficiente. Caso contrário, é vendida a quantidade correspondente ao stock existente no momento.

$$vendas(i) = SE(stock\ inicial(i) > procura(i); procura(i); stock\ inicial(i))$$

- **Quantidade em quebra e situação de quebra**

A quantidade em quebra de uma dada semana é dada pela diferença entre a procura e as vendas. Cada vez que esta quantidade é maior que 0 é colocado o valor 1 na coluna situação de quebra para indicar que houve quebras nessa semana.

$$quantidade\ quebra(i) = procura(i) - \ vendas(i)$$

$$situacao\ quebra(i) = \ SE(quantidade\ quebra(i) > 0; 1; 0)$$

- **Encomenda, quantidade a encomendar, prazo de entrega e espera**

A coluna encomenda possui valores de 1 ou 0 indicando respetivamente quando se deve ou não fazer uma nova encomenda de produto. Uma vez que o ciclo da política em questão possui 4 semanas só pode ser verificado o stock e feita uma encomenda segundo este intervalo. Sendo assim, para as semanas correspondentes é verificado se o stock final é menor que o valor do nível de encomenda e encomenda-se caso se verifique. A quantidade a encomendar é dada pela diferença entre o nível de referência S e o valor do stock final.

$$encomenda(i) = \ SE(stock\ final(i) < s; 1; 0)$$

$$\begin{aligned} &quantidade\ a\ encomendar(i) = \\ &\qquad SE(espera(i-1) > 1; quantidade\ a\ encomendar(i-1); \\ &\qquad\qquad SE(encomenda(i) = 1; S - stock\ final(i); 0)) \end{aligned}$$

Para cada encomenda foi necessário calcular o seu prazo de entrega utilizando um valor aleatório entre 1 e 3 que é o número de semanas possíveis para este problema.

$$prazo\ entrega(i) = \ SE(encomenda(i) = 1; ALEATÓRIOENTRE(1; 3); 0)$$

Consequentemente, para garantir que a quantidade encomendada só é adicionada ao stock no fim do prazo, foi necessário acrescentar a coluna ‘espera’ que dado um prazo de entrega vai subtraindo uma unidade a cada semana. Quando este valor chega a 0 é adicionada a quantidade encomendada no stock inicial da semana em questão.

$espera(i) =$

$$SE(prazo\ entrega(i) > 0; prazo\ entrega(i); SE(espera(i-1) > 0; espera(i-1) - 1; 0))$$

Medidas de Desempenho

Para que possa ser realizada uma análise estatística com detalhe foram incluídas na folha de cálculo as medidas de desempenho que consideramos serem as mais adequadas.

Desta forma, foram calculados os custos de posse, quebra, encomenda e total por semana, assim como a média das procuras, o custo total e o nível de serviço para o ano inteiro. O custo total do ano é a soma dos custos totais de cada semana. Quanto ao nível de serviço foi calculada a probabilidade de haver quebras, dividindo o número de situações de quebra pelas 50 semanas e a esse valor foi subtraído 1 para calcular a probabilidade de não existir situações de quebra (nível de serviço).

$$nivel\ serviço = 1 - \frac{nº\ situacoes\ quebra}{50}$$

Com estas medidas foi assim possível analisar os resultados obtidos nas simulações referidas nos tópicos seguintes utilizando diferentes níveis s e S.

Variação dos valores (s,S)

De modo a comparar os valores dos parâmetros (s, S) obtidos na questão anterior, calcularam-se novos valores, através da variação do s e S, que de seguida serão usados para simular o modelo desenvolvido na *sheet* “Modelo de Simulação”. Assim sendo, é possível confrontar os resultados obtidos no modelo para cada variação realizada.

Primeiramente, como na questão 2 foram consideradas duas épocas, o grupo decidiu calcular a média entre os valores de s em ambas as épocas como também o de S:

$$S = \frac{6051 + 4626}{2} = 5339; \qquad s = \frac{4980 + 3542}{2} = 4261$$

De seguida, aplicou-se uma variação de 5% aos valores calculados, subtraindo e somando essa mesma variação sucessivamente, portanto iremos obter uma sequência de valores deste tipo:

$$\dots(s - 10\%, S), (s - 5\%, S), (s, S), (s + 5\%, S), (s + 10\%, S), \dots$$

$$\dots(s, S - 10\%), (s\ , S - 5\%), (s, S), (s, S + 5\%), (s, S + 10\%), \dots$$

Tendo em conta estes valores construiu-se uma tabela onde a primeira coluna corresponde a todos os valores alternativos de s, e a primeira linha aos valores de S. Sendo o objetivo simular várias situações para cada par (s, S), considerando que quando s é maior do que S, trata-se de uma combinação não válida.

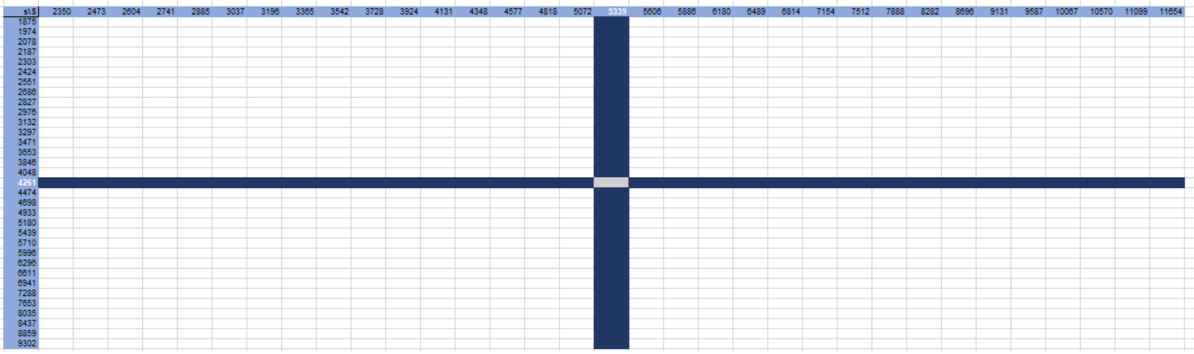

Figura 11 - Tabela s/S com variação de 5%

Simulações

Foram criadas duas *Sheets*, uma para simular o Nível de serviço para um dado (s,S) e outra para simular o Custo total anual. Para tal foram criados dois botões e, posteriormente, definidas uma macro para cada um.

Em ambas as macro são criados dois loops de forma a percorrer cada posição da tabela X. O valor de (s,S) dessa posição será transcrito para a *sheet* "Modelo de Simulação" de forma a simular o modelo proposto tendo em conta os valores obtidos de s e S. No caso da macro "CT", irá devolver para cada célula da tabela X, o custo total anual obtido com o modelo, já para o caso da macro "NS" é devolvido o Nível de Serviço do modelo. Além disso na macro "CT" foi ainda adicionado um pedaço de código que permite comparar o custo total obtido para cada par (s,S) de modo a obter a célula que contém o menor custo.

No final o resultado esperado é o seguinte:

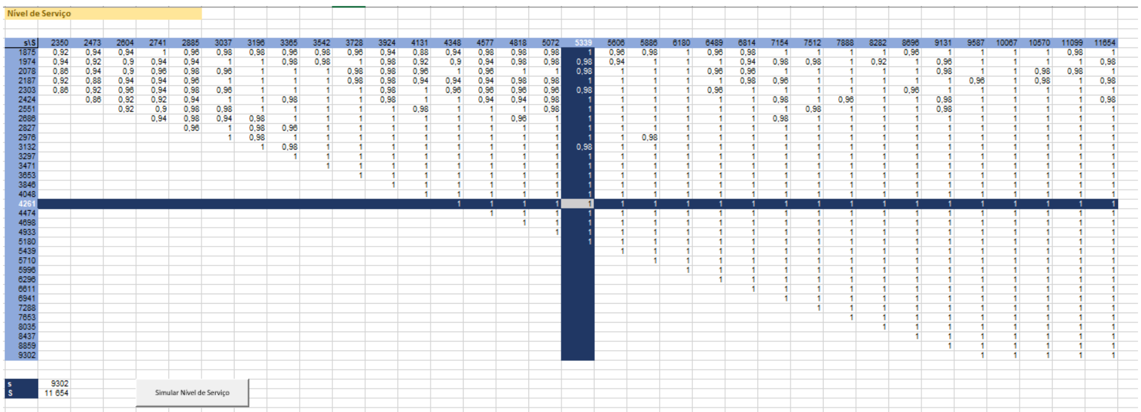

Figura 12 - Simulação Nível de Serviço

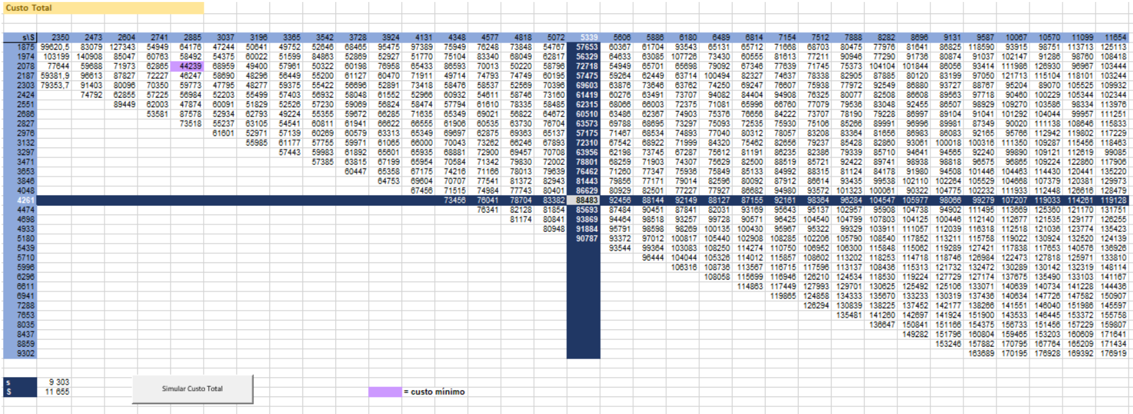

Figura 13 - Custo Total

Análise Estatística

Para facilitar a interpretação das medidas de desempenho e obsevar a sua progessão ao longo das 50 semanas, forma construídos dois gráficos, um para o Custo total a cada semana e outro para a quantidade em quebra.

Considerando s = 2551 e S =2741, obtemos os seguintes resultados:

Figura 14 - Custo total ao longo do ano

Figura 15 - Quantidade em quebra ao longo do ano

Tal como é possível observar, quando existe quantidade em quebra, os custos dessa semana também elevam, como seria de prever.

Análise Comparativa Final

Verificando os resultados finais obtidos das simulações, conseguimos perceber que as células correspondentes a um par (s,S) que têm um nível de serviço mais elevado têm também um elevado custo total anual, tal como as células com um nível de serviço mais baixo têm um custo mais baixo.

A decisão de optar por uma alternativa onde se dá prioridade à minimização dos custos ou ao nível de serviço está dependente da preferência da empresa.

Mas consultando as tabelas de simulação geradas, o modelo de simulação e os gráficos representativos das medidas de desempenho, podemos conseguir encontrar uma solução que poderá tentar satisfazer ao máximo ambos requisitos, ou pelo menos tratar-se de uma melhor solução do que aquela calculada na questão 2. Por exemplo quando s=2976 e S = 3037, obtemos um nível de serviço de 100% e um custo total anual de 51 052€. Relembramos que os valores obtidos na questão anterior foram os seguintes:

CT	56219,98982 €
Nº artigos em quebra	21,45299584 ≈ 22
NS	96,00%

Figura 16 - Resultados Q2)

Portanto, podemos concluir que com técnica de simulação conseguimos obter resultados melhores comparativamente com a técnica usada anteriormente.

Recomendação Final

Ao longo da resolução das três questões deste trabalho prático, foi possível analisar as várias políticas de gestão de *stock* e compará-las de acordo com vários critérios, tais como, a minimização de custos ou a maximização do nível de serviço. Desta forma, tiramos várias conclusões que serão apresentadas ao longo deste tópico.

A político nível de encomenda ótima analisada na questão 1 revelou-se ser mais vantajosa em relação à política inicial praticada, na medida em que, não só é menos custosa, mas também prossupõe menos quebras.

Na questão 2, explorou-se a política (s,S) (política de gestão de stocks mista), tendo sido calculados os parâmetros, de acordo com os dados fornecidos . Posto isto, verificou-se que esta política será mais vantajosa para a empresa, se o seu objetivo for garantir um bom nível de serviço, uma vez que esta política prossupõe a existência de menos quebras. Por outro lado, se a *Café&Afins* pretende minimizar os custos, então a política nível de encomenda ótima será preferível.

Na questão 3, a implementação de um modelo do sistema permitiu obter uma política de gestão de stock mista aproximadamente ótima, com técnicas de simulação.

A simulação é baseada nos resultados obtidos na questão anterior, de forma a facilitar a definição dos domínios de s e S. Para tal, foram variados esses mesmos parâmetros de modo a comparar um conjunto de valores e a discutir os resultados mais vantajosos. Durante o processo, foi possível concluir que a técnica utilizada permitiu encontrar melhores soluções comparativamente com a usada nas questões 1 e 2.