



TRABALHO PRÁTICO: QUANDEC

EPD065 – Modelagem de Sistemas de Produção

Cassiano V de Lima

Fábio A Silva

Carlos R V de Carvalho

Cassotis Consulting¹

Cassotis Consulting¹

Dep EE UFMG²

1. Cassotis Consulting (<https://cassotis.com>), todos os direitos reservados.

2. Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais

Índice

1. Introdução	3
2. Planejamento trimestral da produção de artigos esportivos	3
3. Dados para o próximo trimestre.....	3
3.1. Capacidade de produzir cada tipo de produto	3
3.2. Produtividade e disponibilidade	4
3.3. Demandas mínimas e máximas por região	4
3.4. Preço por região	4
3.5. Custos fixos e variáveis	5
3.6. Custos logísticos.....	5
3.7. Capacidade máxima de escoamento	5
4. Exercícios	6
4.1. Modelagem.....	6
4.2. Análise da solução	6
4.2.1. Considerando a solução proposta, responda as seguintes questões:	6
4.2.2. Análises pós-otimização.....	6
4.3. Ativação de uma nova fábrica comprada para o trimestre seguinte.....	7

1. Introdução

Saber utilizar os recursos disponíveis é diferencial para o sucesso de um negócio. No ambiente empresarial, as aplicações de Pesquisa Operacional são vastas e imprescindíveis, mas diversas vezes enfrentam barreiras devido ao distanciamento dos modelos desenvolvidos com os tomadores de decisão.

Neste trabalho a proposta é diminuir essas barreiras através de uma ferramenta específica para otimização: o software QuanDec.

2. Planejamento trimestral da produção de artigos esportivos

Uma empresa multinacional é produtora de diversos artigos esportivos, que são classificados em três categorias: vestuário, calçados e acessórios. A empresa possui unidades em diversos países, e atende a demanda em praticamente todas as regiões globais.

A cada trimestre, ela refaz o seu plano de produção, podendo manter algumas unidades fechadas de acordo com o contexto atual de demandas, preços e custos, visando sempre **maximizar o lucro** da empresa como um todo.

Cada unidade possui suas peculiaridades, como a capacidade de produzir determinado tipo de produto, a produtividade, a disponibilidade e seus custos.

Os dados disponíveis para o próximo trimestre seguem a seguir.

3. Dados para o próximo trimestre

3.1. Capacidade de produzir cada tipo de produto

Nem toda fábrica da empresa é capaz de produzir todos os tipos de produtos. Suas capacidades são definidas na tabela abaixo:

Fábricas	Vestuário	Calçados	Acessórios
Argentina	-	x	x
Brasil	x	x	-
EUA	x	x	x
México	-	x	-
Italia	x	x	-
Polonia	x	x	x
India	-	x	x
China	x	x	-
Coreia	x	-	x
Indonésia	-	x	x
Vietnam	x	x	x

3.2. Produtividade e disponibilidade

Em função do nível tecnológico e da capacidade da mão de obra, cada fábrica possui produtividades diferentes (peças/hora). Além disso, em função de leis trabalhistas, cada fábrica possui uma disponibilidade (dias).

Fábricas	Vestuário (peças/h)	Calçados (peças/h)	Acessórios (peças/h)
Argentina	400	340	250
Brasil	630	535	320
EUA	1000	780	1500
México	580	415	150
Italia	590	460	350
Polonia	410	400	200
India	895	600	700
China	1320	850	1000
Coreia	100	350	290
Indonésia	815	630	510
Vietnam	760	680	520

Fábricas	Disponibilidade (dias)
Argentina	62.00
Brasil	68.00
EUA	66.00
México	66.00
Italia	61.00
Polonia	71.00
India	61.00
China	71.00
Coreia	62.00
Indonésia	69.00
Vietnam	70.00

3.3. Demandas mínimas e máximas por região

As diferentes regiões possuem demandas mínimas que a empresa deve atender, em função de contratos já estabelecidos. Além disso, cada região determina qual o máximo de demanda poderia ser estabelecida, caso haja disponibilidade e seja lucrativo para a empresa. A demanda é definida em milhares de peças (kpeças)

Demanda mínima			
Regiões	Vestuário (kpeças)	Calçados (kpeças)	Acessórios (kpeças)
América do Norte	693	781	252
América do Sul	231	473	72
América Central	73	33	7
Europa	451	506	126
Oriente Médio	141	99	20
África	73	27	9
Oceania	68	60	24
Norte da Ásia	572	643	144
Sul da Ásia	225	346	72

Demanda máxima			
Regiões	Vestuário (kpeças)	Calçados (kpeças)	Acessórios (kpeças)
América do Norte	970	1073	323
América do Sul	367	557	77
América Central	88	38	8
Europa	632	695	161
Oriente Médio	170	116	23
África	88	64	11
Oceania	81	71	26
Norte da Ásia	801	884	198
Sul da Ásia	316	476	92

3.4. Preço por região

Respeitando as diferenças econômicas de cada região, as equipes de *pricing* da empresa já determinaram os preços de cada produto em cada região (\$/peça).

Price			
Regiões	Vestuário (\$/peça)	Calçados (\$/peça)	Acessórios (\$/peça)
América do Norte	21.00	72.20	88.50
América do Sul	15.00	64.60	70.80
América Central	18.00	36.00	67.85
Europa	15.00	72.20	88.50
Oriente Médio	22.00	57.00	61.95
África	14.70	40.00	40.00
Oceania	21.00	72.20	76.70
Norte da Ásia	15.40	45.60	44.25
Sul da Ásia	14.00	34.00	67.00

3.5. Custos fixos e variáveis

A utilização ou não de uma fábrica no trimestre acarreta custos fixos, expressos em milhões de dólares (M\$). Além disso, a produção de uma peça de cada produto possui um custo variável diferente em cada fábrica, expresso em dólares por peça (\$/peça).

Custo Fixo	
Fábricas	Custo (M\$)
Argentina	7.50
Brasil	6.50
EUA	7.00
México	7.00
Italia	10.00
Polonia	5.00
India	4.00
China	6.00
Corea	12.00
Indonésia	2.50
Vietnam	2.55

Custo variável			
Fábricas	Vestuário (\$/peça)	Calçados (\$/peça)	Acessórios (\$/peça)
Argentina	9.1	29.25	53.6
Brasil	10.4	32.5	55.25
EUA	16.9	50.4	40
México	10.4	34.1	56.9
Italia	14.3	36.4	60.1
Polonia	7	33	53.5
India	5.2	19.5	30.9
China	6.5	22.1	45.8
Corea	13	37.7	56.9
Indonésia	2.6	15	26
Vietnam	2.6	11.4	26

3.6. Custos logísticos

O custo de transporte de uma peça entre uma fábrica e uma determinada região é expresso em dólares por peça (\$/peça).

Custo Logística									
Fábricas	América do Norte (\$/peça)	América do Sul (\$/peça)	América Central (\$/peça)	Europa (\$/peça)	Oriente Médio (\$/peça)	África (\$/peça)	Oceania (\$/peça)	Norte da Ásia (\$/peça)	Sul da Ásia (\$/peça)
Argentina	8.00	3.00	2.00	8.00	12.00	11.00	14.00	14.00	15.00
Brasil	7.00	2.00	2.00	7.00	11.00	10.00	13.00	13.00	14.00
EUA	1.00	5.00	3.00	6.00	10.00	10.00	15.00	9.00	11.00
México	3.00	4.00	3.00	7.80	11.00	12.00	13.00	11.00	12.00
Italia	9.00	6.00	8.00	1.70	4.00	7.00	11.00	8.00	9.00
Polonia	9.00	7.00	9.00	3.20	4.00	8.00	9.00	8.00	8.00
India	13.00	11.00	9.00	7.00	3.00	6.00	6.00	5.00	5.00
China	12.00	15.00	14.00	9.00	5.00	5.00	5.00	1.00	3.00
Corea	13.00	15.00	14.00	9.00	6.00	6.00	6.00	2.00	4.00
Indonésia	14.00	16.00	16.50	11.50	9.00	8.00	3.00	4.00	2.00
Vietnam	15.00	16.50	16.50	12.00	10.00	9.00	4.00	4.00	2.00

3.7. Capacidade máxima de escoamento

Por questões políticas e limitações logísticas, existe um limite máximo de escoamento em cada rota, expresso em milhares de peças (kpeças).

Fábricas	América do Norte (kpeças)	América do Sul (kpeças)	América Central (kpeças)	Europa (kpeças)	Oriente Médio (kpeças)	África (kpeças)	Oceania (kpeças)	Norte da Ásia (kpeças)	Sul da Ásia (kpeças)
Argentina	800	4000	1000	500	100	300	100	100	1000
Brasil	1500	5000	1000	500	500	300	100	1000	1000
EUA	5000	3500	2000	1000	100	800	100	1000	1000
México	3000	1000	2000	500	100	500	100	100	1000
Italia	1000	1000	500	2000	500	500	100	100	1000
Polonia	1000	1000	500	2000	100	100	100	100	1000
India	500	1000	500	600	500	1000	1000	1000	3000
China	1000	3500	500	1000	100	2000	3000	5000	3000
Corea	1000	1000	500	600	300	2000	1000	2000	3000
Indonésia	600	2000	500	600	300	1500	3500	1000	5000
Vietnam	600	2000	500	600	300	500	3500	1000	5000

4. Exercícios

4.1. Modelagem

Crie um modelo que proponha uma solução para o planejamento de produção e distribuição no próximo semestre. Fique atento quanto às unidades dos dados!

4.2. Análise da solução

Para resolver as seguintes questões, utilize dos recursos gráficos do Quandec, bem como das suas diversas funcionalidades, como a ferramenta de comparação, análise de sensibilidade, adição de limites mínimos e máximos, edição de parâmetros, etc. Para a correção do trabalho, é esperado que as respostas obtidas pelo grupo e apresentadas no **relatório** possam ser **acessadas e visualizadas no Quandec**.

4.2.1. Considerando a solução proposta, responda as seguintes questões: [40% da nota final]

- Qual será o lucro da empresa? Quanto terá de custo e quanto terá de receita?
- Qual parte dos custos se refere aos custos fixos?
- Qual parte dos custos se refere aos custos variáveis de produção?
- Qual parte dos custos se refere aos custos logísticos?
- Quanto cada região teve de receita?
- Quantas fábricas foram utilizadas?
- Qual o nível de ocupação das fábricas utilizadas?
- Qual o volume de produção total de cada produto no trimestre?
- Qual o volume de produção de cada produto em cada fábrica?
- Qual o volume total de produtos que cada região recebeu?
- Qual o volume de cada produto que cada região recebeu?
- Alguma demanda foi atendida no mínimo? Qual? Por que você considera que isto ocorreu?
- Qual o plano de distribuição de cada produto? Indicar quanto é transportado de cada fábrica para cada região.
- Qual o volume de produtos que passa por cada rota?

4.2.2. Análises pós-otimização [30% da nota final]

A partir da solução encontrada, algumas análises são demandadas pela diretoria: **[Dica: utilize a ferramenta de comparação]**

- Qual o prejuízo ao se forçar a utilização de cada fábrica não utilizada? (A resposta deve ser por fábrica.)
- Alguma rota está operando no limite máximo? Se sim, qual seria o seu carregamento máximo para que este deixasse de ser um limitante?
- A equipe de manutenção das máquinas de produção de calçados estará disponível para trabalhos em uma fábrica para o próximo trimestre, garantindo um aumento de produtividade de 10%. O gerente de manutenção pode enviar sua equipe para o Brasil

ou para a Polônia. Para onde ele deve enviá-la? Qual será o impacto no lucro da empresa?

- d) Visando fortalecer o comércio interno, os países membros do NAFTA (América do Norte) decidiram sobretaxar as importações, dobrando os custos logísticos de produtos vindos de países que não fazem parte do grupo. Como este cenário afeta o planejamento de produção e distribuição? Qual o impacto no lucro da empresa?
- e) Com o surgimento de uma possível nova guerra fria entre Estados Unidos e China, o CEO da empresa gostaria de uma avaliação do impacto de não utilizar a fábrica chinesa. Como o lucro é impactado? Alguma outra fábrica passa a ser utilizada?
- f) O departamento de Marketing solicitou uma análise que possa auxiliar a decisão de em qual região intensificar suas campanhas. O departamento estima que pode conseguir aumentar a demanda máxima na América Central em 30%, na África em 50% e na Oceania em 15%. Como só há recurso para uma nova campanha, qual deve ser escolhida? Por quê?

4.3. Ativação de uma nova fábrica comprada para o trimestre seguinte [15% da nota final]

Considerando que boa parte da demanda da empresa se encontra na Europa e no Norte da Ásia, a empresa viabilizou a compra de uma nova fábrica com uma localização estratégica: na Rússia. A fábrica conta com instalações muito modernas, com alta produtividade, aproveitando de uma cadeia de fornecedores mais eficiente para ter seus custos variáveis reduzidos.

Os dados da nova fábrica são:

Parâmetro	Valor
Custo fixo (M\$)	5.5
Disponibilidade (dias)	67

Parâmetro	Vestuário (\$/peça)	Calçados (\$/peça)	Acessórios (\$/peça)
Custo variável (\$/peça)	7.15	26.30	48.60
Produtividade (peças/h)	1320	690	600

Região	Custo logístico (\$/peça)
América do Norte	12.00
América do Sul	15.00
América Central	14.00
Europa	7.00
Orientes Médio	4.00
África	5.00
Oceania	6.00
Norte da Ásia	2.00
Sul da Ásia	4.00

A fábrica pode produzir produtos das três categorias e não possui restrições de carregamento em nenhuma rota (Pode-se considerar carregamento máximo de 5000)

- a) É interessante passar a utilizar a fábrica russa? Como o plano de produção e distribuição foi alterado?
- b) Se sim, considerando que o valor do custo fixo da fábrica é incerto em função da obtenção ou não de benefícios fiscais, até qual valor o uso da fábrica seria viável? Se não, a partir de qual valor de custo fixo a fábrica se torna interessante? [Dica: utilize análise de sensibilidade]

4.4. Objetivo da otimização [15% da nota final]

Uma das etapas mais importantes do desenvolvimento de modelos de otimização em uma organização, seja ela uma indústria, uma empresa de serviços ou ainda um órgão público, é a

formulação de um objetivo que seja adequado para o problema que se deseja resolver, bem como aos valores e objetivos globais da organização. O mesmo problema pode ser resolvido de diferentes maneiras, e nem sempre a definição da função objetivo de um modelo é algo tão claro e evidente inicialmente.

No modelo desenvolvido, tínhamos como objetivo encontrar uma solução que maximizasse o lucro da empresa. Este é um objetivo muito comum no setor privado, considerando o alinhamento com o objetivo dos seus acionistas e controladores, que desejam recuperar seus investimentos e aumentar ao máximo os seus retornos. No entanto, em alguns contextos, este objetivo pode ser alterado.

Em algumas situações, uma empresa pode ter objetivos pontuais que não considerem o lucro. Por exemplo, uma empresa em fase de expansão pode possuir como objetivo aumentar o seu *market share*, buscando maximizar as vendas. Em momentos de crise e fraca geração de caixa, uma empresa pode ter como objetivo minimizar os seus custos, por exemplo.

Partindo da base de dados iniciais (sem a inclusão da fábrica russa), responda as seguintes questões:

- a) Altere o modelo para o contexto de expansão de *market share*, modificando a função objetivo para maximização de vendas. Como a solução se altera?
- b) Comparando com o resultado obtido no item a, como a solução se altera caso o objetivo seja a maximização das receitas? Caso as soluções sejam iguais, como você explica este fato? Em que contexto as soluções para estes dois objetivos seriam diferentes?
- c) Altere o modelo para o contexto de crise, modificando a função objetivo para minimização de custos. Como o plano de produção e distribuição se altera? Como ficou o atendimento da demanda?
- d) Como você explica que a solução de menor custo e a solução de maior receita não correspondem a solução de maior lucro?

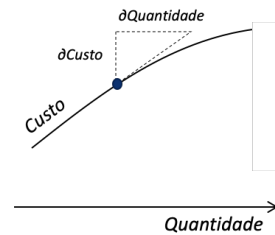
5. Análise extra*

Este exercício propõe uma análise extra que permitirá uma melhor compreensão de conceitos de microeconomia aplicados à tomada de decisão por meio de modelos de otimização. Por se tratar de uma questão bônus, a realização deste exercício poderá substituir questões erradas, aumentando a possibilidade de obtenção de uma boa nota. [\[Limitado a 20% da nota total\]](#)

Microeconomia é considerada a base da moderna teoria econômica, estudando suas relações fundamentais. Dentre os tópicos abordados nesta teoria, estão os conceitos de custo marginal, receita marginal e lucro marginal. De acordo com a teoria, estes conceitos devem ser considerados pelas empresas para a determinação dos seus objetivos.

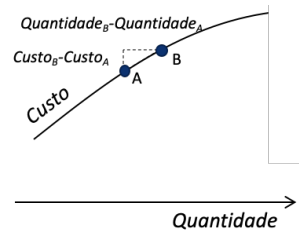
O custo marginal representa a mudança nos custos totais em função de uma pequena variação de produção. Podemos então considerar que o custo marginal é a derivada da função custo:

$$\text{Custo marginal} = \frac{\partial \text{Custo}}{\partial \text{Produção}}$$



Como simplificação, pode-se calcular o custo marginal utilizando a variação entre dois níveis de produção:

$$\text{Custo marginal} = \frac{\text{Custo}_B - \text{Custo}_A}{\text{Produção}_B - \text{Produção}_A}$$



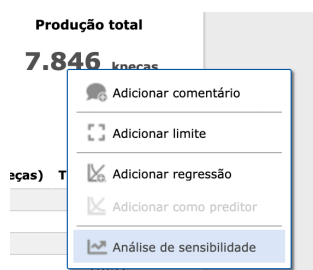
Os conceitos de receita marginal e de lucro marginal são similares ao de custo marginal: representam a mudança na receita total e no lucro total, respectivamente, após uma pequena variação na produção.

Para visualizarmos melhor estes conceitos, vamos tentar observá-lo na prática. Durante esta análise, faremos algumas pequenas modificações nos dados:

- Altere a demanda de produtos de Vestuário na Europa para 700;
- Garanta que todas as fábricas da empresa estejam ativadas. [\[Dica: adicione limite mínimo ao número de fábricas\]](#)

Otimize o modelo para observar qual a solução ótima proposta.

Utilizando a ferramenta de análise de sensibilidade, varie a produção total da empresa de 5800 kpeças até 7950 kpeças, com um incremento de 50kpeças:



Análise de sensibilidade

Parâmetro : Produção total

Índice :

De : 5800

Para : 7950

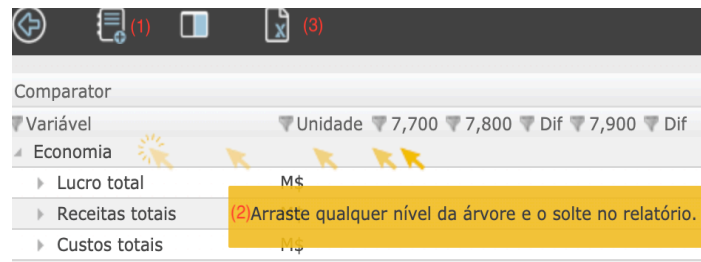
Incremento : 50

Qtde de pontos : 44

Cancelar OK

Ao término da análise de sensibilidade, a janela de comparação de cenários será aberta, contendo os resultados de cada ponto da análise. Siga os seguintes passos:

1. Crie um relatório, clicando no primeiro item do menu;
2. Adicione as variáveis de Custo total, Receita total e Lucro total no relatório, arrastando-as para o relatório.
3. Exporte o relatório no formato Excel.



Comparator	
Variável	Unidade 7,700 7,800 Dif 7,900 Dif
Economia	
▶ Lucro total	M\$
▶ Receitas totais	(2) Arraste qualquer nível da árvore e o solte no relatório.
▶ Custos totais	M\$

No Excel, utilize a fórmula do Custo marginal apresentada acima para calcular o Custo marginal, a Receita marginal e o Lucro marginal em cada nível de produção.

Em seguida, crie um gráfico de linhas com as três variáveis. Apresente o gráfico criado e responda as seguintes questões:

- Como a curva de Lucro marginal se comporta? Ela é crescente ou decrescente?
- Em algum momento o Lucro marginal é negativo?
- Como você relaciona o comportamento da curva de Lucro marginal com a solução encontrada na otimização do modelo?