



UNIDADE I

Pesquisa Operacional

Prof. Dr. Angel Martinez

Introdução à Pesquisa Operacional

- Neste módulo veremos:
- Origem e definição de Pesquisa Operacional;
- Objetivos do ensino da Pesquisa Operacional;
- Construção de modelos matemáticos.

Origem e definição de Pesquisa Operacional

- A origem do termo Pesquisa Operacional (PO) é comumente atribuída às atividades militares do início da Segunda Guerra Mundial (Hillier *et al.*, 2012), evento em que foram empregados métodos científicos para alocação eficiente dos recursos nas operações militares.
- Com o término do conflito bélico e o sucesso dos métodos empregados na PO, houve um grande interesse do meio empresarial pelo emprego dessas técnicas científicas na gestão da produção industrial, bem como na área de serviços.

Origem e definição de Pesquisa Operacional

- Diversos cientistas das equipes de PO, entre outros, tomaram conhecimento do assunto e dedicaram-se a pesquisas na área, obtendo resultados importantes. Dentre esses resultados, vale a pena destacar o **método Simplex**, criado por George Dantzig em 1947, enquanto trabalhava para as forças militares de seu país resolvendo problemas de logística (Duarte Júnior, 2023). O método é usado para solucionar problemas de programação linear.
- Ao final da década de 1950, várias técnicas de PO já estavam bem desenvolvidas, e assim, a PO ganha destaque nas mais diversas áreas da administração eficiente de recursos, tornando-se uma ferramenta indispensável nos mais diversos setores da sociedade.

Origem e definição de Pesquisa Operacional

- O prêmio Nobel de economia de 1975 foi dividido entre o holandês Tjalling Koopmans e o russo Leonid Kantorovich (de família de origem judaica) por suas contribuições para a teoria da alocação ótima de recursos. Em seus discursos de aceitação da premiação, mencionaram explicitamente o método Simplex de George Dantzig, gerando um desconforto na cerimônia pelo fato de o autor não ter sido indicado para o prêmio daquele ano.
- Aparentemente, um dos motivos para a Real Academia Sueca de Ciências não o indicar é o fato de Dantzig ter usado suas descobertas para fins militares (Colin, 2017; Duarte Júnior, 2023).

Origem e definição de Pesquisa Operacional

A expressão “pesquisa operacional” é a tradução brasileira do inglês *operational research* (traduzido em Portugal como investigação operacional e no idioma espanhol por *investigación operativa* (Arenales; Armentano, 2006). A definição de pesquisa operacional é controversa, mesmo porque o nome do termo não indica de forma clara todos os assuntos abordados na disciplina. Assim, será adotado de forma objetiva o conceito definido por Silva *et al.* (2017):

- A Pesquisa Operacional (PO) é uma metodologia criada para auxiliar a tomada de decisão. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo e, por meio da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema.

Objetivos do ensino de Pesquisa Operacional

Moreira (2010) resumiu os objetivos do ensino da Pesquisa Operacional aos seguintes:

- Melhorar o pensamento lógico dos estudantes para a estruturação de problemas;
- Conhecer técnicas que sejam úteis para o futuro executivo;
- Familiarizar o estudante com o uso de recursos computacionais.

Construção de modelos matemáticos

- A construção de modelos matemáticos é considerada por alguns como uma arte. Para tanto, é preciso, já de início, entender o problema. Assim, serão abordados alguns conceitos preliminares antes de expormos um fluxograma de construção de modelos matemáticos.
- O dicionário Houaiss define os termos “problema” e “situação”, centrais para a Pesquisa Operacional, da seguinte forma:

Definições:

- Problema: uma dificuldade que deve ser solucionada;
- Situação: combinação ou concorrência de acontecimentos ou circunstâncias em dado momento.

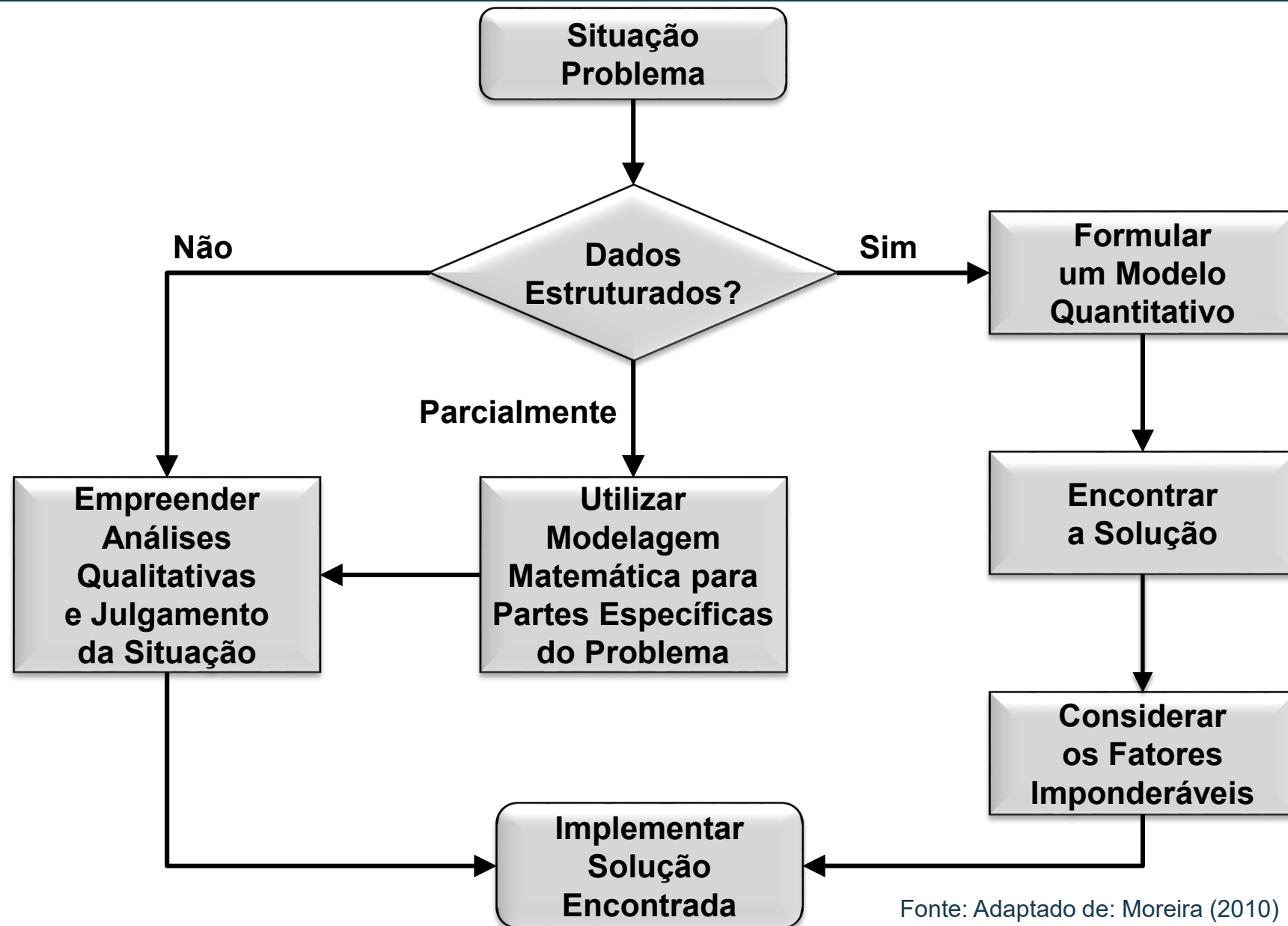
Construção de modelos matemáticos

- Os dados costumam ser classificados em dados estruturados, não estruturados e semiestruturados:
- **Dados estruturados:** informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.
- **Dados não estruturados:** informações que não estão organizadas de forma rígida.
- **Dados semiestruturados:** informações compostas parcialmente por dados estruturados e não estruturados.

Construção de modelos matemáticos

- Após descrever uma situação problema e as informações sobre ela levantadas, deve-se partir para a análise dos dados, que pode ser realizada pelos métodos quantitativo ou qualitativo. O método quantitativo é mais utilizado nas áreas de ciências exatas, enquanto o método qualitativo é mais utilizado nas áreas de ciências humanas.
- **Método quantitativo:** analisa dados numéricos organizados e objetivamente mensuráveis.
- **Método qualitativo:** estuda fenômenos que requerem descrições e análises não numéricas referentes a um determinado problema.

Construção de modelos matemáticos



Interatividade

Com relação à classificação dos dados, qual das alternativas abaixo está correta?

- a) Dados estruturados: informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.
- b) Dados estruturados: informações que não estão organizadas de forma rígida.
- c) Dados não estruturados: informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.
- d) Dados semiestruturados: informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.
- e) Dados semiestruturados: informações que não estão organizadas de forma rígida.

Resposta

Com relação à classificação dos dados, qual das alternativas abaixo está correta?

- a) **Dados estruturados: informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.**
- b) Dados estruturados: informações que não estão organizadas de forma rígida.
- c) Dados não estruturados: informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.
- d) Dados semiestruturados: informações organizadas em uma estrutura rígida previamente planejada.
- e) Dados semiestruturados: informações que não estão organizadas de forma rígida.

Programação linear e métodos gráficos

- A programação linear (PL) é um dos métodos de otimização utilizados na Pesquisa Operacional. A palavra **programação** deve ser entendida como o planejamento em algum processo administrativo, gerencial, industrial etc. Esse planejamento objetiva obter o melhor resultado possível para o processo – seja maximizando o lucro ou minimizando os custos, por exemplo. A palavra **linear** está relacionada ao fato de serem usadas equações lineares.
- Programação linear.
- Métodos gráficos.

Programação linear e métodos gráficos

otimizar(Max ou Min) : $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\text{sujeito a : } \left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots \\ g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{c} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{array} \right.$$

Fonte: Adaptado de: Bronson (1985)

Programação linear e métodos gráficos

Problema resolvido

Considere o caso de uma pequena cidade que está preparando uma festa comemorativa para a divulgação dos produtos da economia local. No planejamento desse evento, um dos itens do cardápio serão hambúrgueres especiais feitos com uma mistura de carne bovina magra e carne suína. Esses dois itens dos hambúrgueres são os principais itens da economia local. A carne bovina magra contém 80% de carne e 20% de gordura e custa R\$ 40,00 por kg. A carne suína possui 68% de carne e 32% de gordura e custa R\$ 30,00 por kg. Quanto de carne bovina e de carne suína deve ser utilizado por quilograma de hambúrgueres para minimizar o custo e conservar o teor de gordura de um hambúrguer inferior a 25%?

$$\text{minimizar : } 40x_1 + 30x_2$$

$$\text{sujeito a : } \begin{cases} 0,20x_1 + 0,32x_2 \leq 0,25 \\ x_1 + x_2 = 1 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Programação linear e métodos gráficos

minimizar : $40x_1 + 30x_2$

$$\text{sujeito a : } \begin{cases} 0,20x_1 + 0,32x_2 \leq 0,25 \\ x_1 + x_2 = 1 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Passo Restrições

$$\begin{array}{l} 1 \quad \begin{cases} 0,20x_1 + 0,32x_2 \leq 0,25 & (I) \\ x_1 + x_2 = 1 & (II) \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \\ 2 \quad \begin{cases} 0,20x_1 + 0,32x_2 \leq 0,25 & (I) \\ (-0,2)x_1 + (-0,2)x_2 = (-0,2)1 & (III) \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \\ 3 \quad \begin{cases} 0,20x_1 + 0,32x_2 \leq 0,25 & (I) \\ 0,12x_2 = 0,05 & (IV) \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \\ 4 \quad \begin{cases} x_1 = \frac{7}{12} \approx 0,58 \\ x_2 = \frac{5}{12} \approx 0,42 \end{cases} \end{array}$$

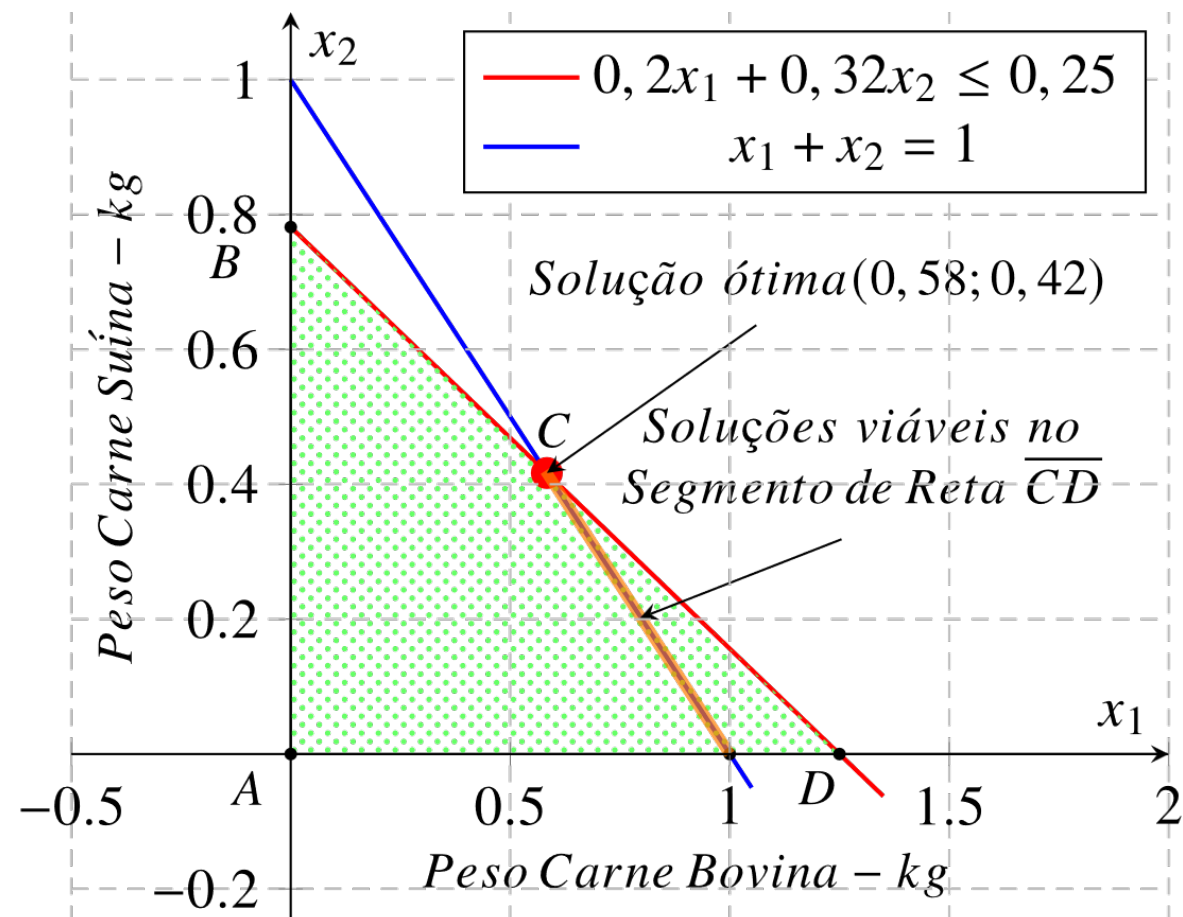
Solução

- Toma-se a equação (II), multiplica-se por -0,2, obtendo-se a equação (III);
- Somando-se (I) com (III), obtendo-se (IV);
- De (IV) obtém-se a solução para uma das variáveis;
- Esta é uma possível solução. No caso, é a solução ótima.

Programação linear e métodos gráficos

minimizar : $40x_1 + 30x_2$

$$\text{sujeito a : } \begin{cases} 0,20x_1 + 0,32x_2 \leq 0,25 \\ x_1 + x_2 = 1 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$



Programação linear e métodos gráficos

Substituindo esses valores na função objetivo:

- $\text{Custo} = 40 \times 0,58 + 30 \times 0,42$
- $\text{Custo} = \text{R\$ } 23,20 + \text{R\$ } 12,60$
- $\text{Custo} = \text{R\$ } 35,80$

Minimizar: $z = 40x_1 + 30x_2$

$$\begin{cases} x_1 = \frac{7}{12} \approx 0,58 \\ x_2 = \frac{5}{12} \approx 0,42 \end{cases}$$

Programação linear e métodos gráficos

Utilização do Solver no Excel

- O Solver do Microsoft Excel é uma ferramenta poderosa que permite resolver problemas de otimização e programação linear. Se você tem um problema de PL e deseja encontrar a melhor solução possível com base em algumas restrições, o Solver pode ser extremamente útil. Aqui está um guia básico para usar o Solver do Excel para resolver problemas de programação linear.

Interatividade

Considerando, em programação linear, a resolução algébrica, o método gráfico e o uso do Solver no Microsoft Excel, indique a alternativa correta na comparação entre esses métodos.

- a) O método gráfico é o mais adequado para problemas que envolvem mais de duas variáveis.
- b) A resolução algébrica é eficiente para problemas de qualquer tamanho e complexidade.
- c) O Solver no Microsoft Excel não é adequado para problemas de programação linear.
- d) O método gráfico é limitado a problemas bidimensionais (duas variáveis de decisão).
- e) A resolução algébrica e o método gráfico são computacionalmente mais poderosos do que o Solver no Microsoft Excel.

Resposta

Considerando, em programação linear, a resolução algébrica, o método gráfico e o uso do Solver no Microsoft Excel, indique a alternativa correta na comparação entre esses métodos.

- a) O método gráfico é o mais adequado para problemas que envolvem mais de duas variáveis.
- b) A resolução algébrica é eficiente para problemas de qualquer tamanho e complexidade.
- c) O Solver no Microsoft Excel não é adequado para problemas de programação linear.
- d) O método gráfico é limitado a problemas bidimensionais (duas variáveis de decisão).
- e) A resolução algébrica e o método gráfico são computacionalmente mais poderosos do que o Solver no Microsoft Excel.

Método Simplex

- O Método Simplex é um algoritmo desenvolvido para resolver problemas de programação linear, ou seja, problemas que envolvem a otimização de uma função objetivo sujeita a um conjunto de restrições lineares. Foi inventado por George Dantzig em 1947 e é uma das técnicas mais eficientes e amplamente utilizadas em pesquisa operacional e otimização matemática. O Simplex é um algoritmo simples, porém ele envolve muitas iterações de cálculo, o que pode levar a um procedimento tedioso e trabalhoso e, por conta disso, é necessário um computador para resolver problemas por este método. Se ele for executado de forma manual, a probabilidade de erro é muito alta.

Método Simplex

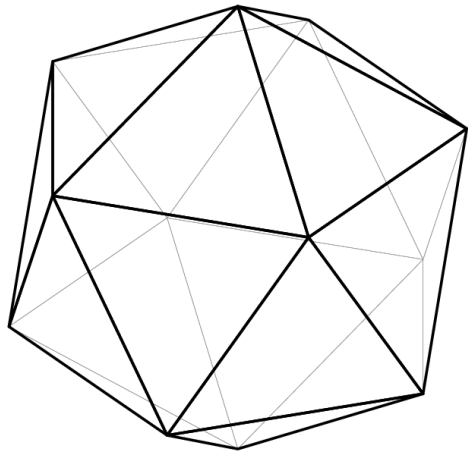
Componentes do Método Simplex:

1. Função objetivo;
2. Restrições;
3. Variáveis de folga;
4. Solução inicial viável.

Método Simplex

1. **Função objetivo:** O primeiro passo é definir a função objetivo que se deseja maximizar ou minimizar. Esta é geralmente uma função linear das variáveis de decisão. Por exemplo, se estamos tentando maximizar o lucro de vender dois produtos, a função objetivo poderia ser $z = c_1x_1 + c_2x_2$ onde c_1 e c_2 são os lucros por unidade de cada produto e x_1 e x_2 são as quantidades de cada produto.
2. **Restrições:** Além da função objetivo, o problema geralmente contém um conjunto de restrições que as variáveis de decisão devem satisfazer. Estas restrições também são representadas por equações ou inequações lineares.
3. **Variáveis de folga:** Para transformar as inequações em equações, são introduzidas variáveis de folga. Isso simplifica o problema e facilita a busca pela solução ótima.
4. **Solução inicial viável:** O Método Simplex começa com uma solução inicial viável, geralmente no ponto onde todas as variáveis de decisão são zero (exceto as variáveis de folga, se presentes).

Método Simplex



1. Ponto de partida: O algoritmo começa em um vértice do espaço de soluções viáveis, que é um poliedro convexo.
2. Movimentação: Em cada passo, o algoritmo se move para um vértice adjacente do poliedro de soluções viáveis.
3. Critério de otimização: O algoritmo avalia se essa nova posição é melhor ou pior em relação à função objetivo.
4. Convergência: O algoritmo repete esses passos até encontrar o vértice que otimize a função objetivo, considerando todas as restrições.
5. Solução ótima: Uma vez que um vértice é encontrado onde nenhum movimento adjacente melhora a função objetivo, esse vértice é identificado como a solução ótima.

Método Simplex

Para ilustrar o Método Simplex de uma forma mais simples, consideremos o problema a seguir:

Problema

- Uma empresa fabrica dois produtos P1 e P2 e deseja maximizar seu lucro. Cada unidade de P1 dá um lucro de R\$ 3,00 e cada unidade de P2 dá um lucro de R\$ 2,00.

Modelo de Programação Linear

Maximizar: $z = 3x_1 + 2x_2$

Restrições

Sujeito a:

$$2x_1 + x_2 \leq 20$$

$$4x_1 + 2x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Método Simplex

Passo 1: Adição de Variáveis de Folga

$$2x_1 + x_2 + s_1 = 20$$

$$4x_1 + 2x_2 + s_2 = 40$$

- x_1 para P1 e x_2 para P2
- Cada unidade de P1 dá um lucro de R\$ 3,00 e cada unidade de P2 dá um lucro de R\$ 2,00.

Passo 2: Tabela Simplex Inicial

x_1	x_2	s_1	s_2	LD	Razão
2	1	1	0	20	10
4	2	0	1	40	10
-3	-2	0	0	0	

- Cada unidade de P1 dá um lucro de R\$ 3,00 e cada unidade de P2 dá um lucro de R\$ 2,00.
- Razão linha 1 = $20/2 = 10$
- Razão linha 2 = $40/4 = 10$
- -3 refere-se ao valor R\$ 3,00
- -2 refere-se ao valor R\$ 2,00

Método Simplex

x_1	x_2	s_1	s_2	LD	Razão
2	1	1	0	20	10
4	2	0	1	40	10
-3	-2	0	0	0	

x_1	x_2	s_1	s_2	LD
1	0.5	0.5	0	10
0	0	-2	1	0
0	1	1.5	0	30

Passo 3. Iteração 1

Escolha da Coluna do Pivô:

- x_1 (coeficiente -3 na linha Z)

Escolha da Linha do Pivô:

- Linha 1 (menor razão positiva: 10)

Operações de Linha:

- Linha 1 = Linha 1 / 2
- Linha 2 = Linha 2 - 4 * Linha 1
- Linha Z = Linha Z + 3 * Linha 1

Solução Ótima:

- $x_1 = 10$
- $x_2 = 0$
- $s_1 = 0$
- $s_2 = 0$
- $Z = \text{R\$ } 30,00$

Conclusão:

- A empresa deve produzir 10 unidades de P1 e nenhuma unidade de P2 para maximizar o lucro em R\$ 30,00.

Passo 4. Iteração 2 -> Análise da Linha Z:

- Não há coeficientes negativos. Portanto, alcançamos a solução ótima.

Linha Z

Interatividade

Qual é o objetivo da introdução de variáveis de folga no Método Simplex?

- a) Maximizar o valor das variáveis de decisão.
- b) Converter restrições de desigualdade em igualdades para facilitar o cálculo.
- c) Reduzir o custo computacional do algoritmo.
- d) Permitir a negatividade das variáveis de decisão.
- e) Aumentar o número de soluções ótimas possíveis.

Resposta

Qual é o objetivo da introdução de variáveis de folga no Método Simplex?

- a) Maximizar o valor das variáveis de decisão.
- b) Converter restrições de desigualdade em igualdades para facilitar o cálculo.
- c) Reduzir o custo computacional do algoritmo.
- d) Permitir a negatividade das variáveis de decisão.
- e) Aumentar o número de soluções ótimas possíveis.

Problemas de transporte e designação

- A pesquisa operacional abrange uma série de técnicas matemáticas e computacionais utilizadas para otimizar a tomada de decisões em diversos cenários da vida real.
- Dentre essas técnicas, os problemas de transporte e designação se destacam pela sua aplicabilidade em diversas situações práticas, especialmente quando estamos diante da necessidade de alocar recursos de maneira eficiente.
 - Ambos os problemas, de transporte e de designação, podem ser formulados e resolvidos por meio de técnicas de programação linear. Na pesquisa operacional, esses problemas são comuns e representam situações práticas em que decisões eficientes podem gerar economias significativas e melhorias operacionais em diversas áreas da indústria, logística e gestão.

Problemas de transporte e designação

Problema de transporte

- O problema de transporte refere-se à questão de como transportar um produto de várias fontes (como fábricas ou armazéns) para vários destinos (como lojas ou centros de distribuição) de maneira que se minimize o custo total do transporte, respeitando as capacidades das fontes e as demandas dos destinos.
 - Imagine, por exemplo, que você gerencie uma rede de armazéns que fornecem produtos para diversas lojas em uma região. Cada armazém tem uma quantidade fixa de produtos disponíveis, e cada loja tem uma demanda específica. Os custos de transporte variam de acordo com a distância e as rotas disponíveis. O desafio é determinar quanto produto de cada armazém deve ser enviado para cada loja, de forma a atender todas as demandas e ao mesmo tempo minimizar os custos de transporte.

Problemas de transporte e designação

Problema de designação

- O problema de designação trata da alocação de recursos a tarefas de forma que o custo ou o tempo seja minimizado. Diferentemente do problema de transporte, em que a questão principal é “quanto” alocar, no problema de designação a pergunta principal é “quem” atribuir a “quê”.
 - Um exemplo clássico é a atribuição de funcionários a tarefas. Suponha que você tenha um conjunto de trabalhadores e um conjunto de tarefas. Cada trabalhador tem um custo diferente para realizar cada tarefa, seja em termos de tempo, habilidade ou qualquer outro critério. O objetivo é atribuir cada tarefa a um trabalhador de forma que todos os trabalhos sejam concluídos com o menor custo total.

Problemas de transporte e designação

Problemas de transporte

- **Conceito:** Os problemas de transporte lidam com a alocação otimizada de produtos ou mercadorias de várias origens (por exemplo, fábricas) a vários destinos (por exemplo, armazéns ou lojas), de tal forma que o custo total do transporte seja minimizado, ou o lucro seja maximizado.

Problemas de transporte e designação

Componentes

- **Origens:** Os pontos de partida dos produtos. Cada origem tem uma oferta específica, isto é, a quantidade máxima de produto que ela pode fornecer.
- **Destinos:** Os pontos de chegada dos produtos. Cada destino tem uma demanda específica, isto é, a quantidade exata de produto que ele requer.
- **Custos:** Para cada par origem-destino, existe um custo associado para transportar uma unidade de produto.
- **Objetivo:** Minimizar o custo total de transporte, satisfazendo todas as ofertas e demandas.

Problemas de transporte e designação

Problemas de designação

- **Conceito:** Os problemas de designação lidam com a tarefa de alocar recursos a tarefas de maneira que o custo ou o tempo total sejam minimizados, ou que o lucro ou a eficiência sejam maximizados. Uma característica especial é que exatamente um recurso é atribuído a exatamente uma tarefa.

Problemas de transporte e designação

Componentes:

- **Recursos:** Por exemplo, trabalhadores, máquinas, veículos etc.
- **Tarefas:** Atividades específicas a serem realizadas.
- **Custos ou benefícios:** Para cada par recurso-tarefa, há um custo associado para alocar esse recurso específico àquela tarefa específica. Em algumas situações, em vez de um custo, pode-se ter um benefício ou lucro associado.
- **Objetivo:** Minimizar o custo total ou maximizar o benefício total da designação.

Problemas de transporte e designação

Exemplo de problema com algoritmo de transporte:

Distribuição de mercadorias

- **Situação:** Uma empresa possui várias fábricas que produzem um certo produto e precisa distribuí-lo para diversos centros de distribuição em diferentes cidades.
- **Problema:** Determinar a quantidade que cada fábrica deve enviar para cada centro de distribuição de forma a minimizar os custos de transporte, considerando as capacidades de produção das fábricas e as demandas dos centros de distribuição.

Problemas de transporte e designação

Exemplo de problema com algoritmo de transporte:

Transporte de grãos

- **Situação:** Diferentes fazendas produzem grãos e precisam enviá-los para vários moinhos em uma região.
- **Problema:** Como distribuir os grãos das fazendas para os moinhos de forma a atender à demanda de cada moinho minimizando os custos de transporte, dadas as diferentes distâncias e capacidades das fazendas?

Problemas de transporte e designação

Exemplo de problema com modelos de designação:

Alocação de funcionários a projetos

- **Situação:** Uma empresa de TI tem diversos projetos e um conjunto de desenvolvedores com diferentes habilidades.
- **Problema:** Como alocar os desenvolvedores aos projetos de forma a minimizar o tempo total necessário para completar todos os projetos?

Problemas de transporte e designação

Exemplo de problema com modelos de designação:

Atribuição de máquinas a operadores

- **Situação:** Uma fábrica tem várias máquinas e operadores. Cada operador leva um tempo diferente para operar cada máquina.
- **Problema:** Como alocar operadores a máquinas de forma a minimizar o tempo total de produção ou o custo total?

Problemas de transporte e designação

Exemplo de problema com modelos de designação:

Atribuição de tarefas em centros de atendimento

- **Situação:** Um centro de atendimento ao cliente recebe diferentes tipos de chamadas que requerem diferentes níveis de especialização.
- **Problema:** Como atribuir os diferentes tipos de chamadas aos atendentes de forma a minimizar o tempo de espera do cliente?

Resumo

- Nesta unidade foram vistos alguns métodos da pesquisa operacional para a resolução de problemas mais genéricos, que podem ser utilizados em diversas áreas do conhecimento. Entre eles o método algébrico de resolução de problemas de programação linear bem como o método gráfico.
- O método gráfico é muito limitado, pois o número de variáveis envolvidas é baixo.
- O método algébrico permite um número maior de variáveis, porém os problemas práticos de programação linear envolvem muitas variáveis e por isso devem ser usados métodos computacionais.

Resumo

- Como métodos computacionais, tratamos do uso do Solver, um ADD-IN do Microsoft Excel que nos permite resolver problemas computacionais maiores, mas ainda assim limitados, pois o Excel é uma ferramenta destinada a problemas computacionais de pequeno porte. Descrevemos o Método Simplex, que é um algoritmo para a resolução de problemas de otimização que exige várias iterações. O Simplex foi criado justamente para o uso de computadores em problemas mais complexos.
- Foram apresentados problemas de transporte e de designação bastante genéricos e aplicados à área de informática de forma simplificada para entendimento em um texto introdutório.

Interatividade

Em problemas de transporte e de designação, o que se busca minimizar ou maximizar?

- a) O número de variáveis de decisão no modelo.
- b) A distância média percorrida pelos veículos de transporte.
- c) O custo total de transporte ou a eficiência total da designação de recursos.
- d) O tempo total de transporte ou o tempo de execução das tarefas.
- e) A quantidade de produtos a serem transportados ou o número de tarefas a serem designadas.

Resposta

Em problemas de transporte e de designação, o que se busca minimizar ou maximizar?

- a) O número de variáveis de decisão no modelo.
- b) A distância média percorrida pelos veículos de transporte.
- c) O custo total de transporte ou a eficiência total da designação de recursos.
- d) O tempo total de transporte ou o tempo de execução das tarefas.
- e) A quantidade de produtos a serem transportados ou o número de tarefas a serem designadas.

Referências

- ARENALES, M; ARMENTANO, V. *Pesquisa operacional*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- BRONSON, R. *Pesquisa operacional*. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.
- COLIN, E. C. *Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.
- DUARTE JÚNIOR, A. M. *Programação linear*. Curitiba: Appris, 2023.
- HILLIER, F. S. *et al. Introdução à pesquisa operacional*. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- MOREIRA, D. *Pesquisa operacional: programação linear, simulação*. 5 ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.
 - SILVA, E. M. *et al. Pesquisa operacional: programação linear, simulação*. 5. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.

ATÉ A PRÓXIMA!