



UNIVERSIDADE DO OESTE DE SANTA CATARINA
UNOESC CAMPUS DE XANXERÊ
DISCIPLINA: PESQUISA OPERACIONAL
PROF.: CRISTIANO AGOSTI

APOSTILA DE PESQUISA OPERACIONAL

Xanxerê /SC - Agosto de 2003.

SUMÁRIO

1. PESQUISA OPERACIONAL ("OPERATIONS RESEARCH")	1
1.1. CONCEITO	1
1.2. HISTÓRICO	1
1.3. PO NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS	2
1.4. ÁREAS DE APLICAÇÃO ETÉCNICAS UTILIZADAS	4
1.5. PESQUISA OPERACIONAL NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA	5
1.6. OUTROS EXEMPLOS	6
2. TEORIA DA DECISÃO	8
2.1. ELEMENTOS DE UM PROBLEMA DE DECISÃO	8
2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE DECISÃO	8
2.4. EXERCÍCIOS SOBRE TEORIA DA DECISÃO	9
3. PROGRAMAÇÃO LINEAR	13
3.1. FASES DE UM ESTUDO EM P.O.	13
3.2. EXEMPLO DE UM PROBLEMA DE PL	15
3.3. EXERCÍCIOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	15
4. MÉTODO GRÁFICO	19
4.1. EXEMPLO DE UM PROBLEMA DE PL COM RESOLUÇÃO GRÁFICA	20
4.2. EXERCÍCIOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR USANDO O MÉTODO GRÁFICO	22
5. PROGRAMAÇÃO LINEAR NO EXCEL	24
5.1. EXEMPLO COM O EXCEL	24
5.2. CONFIGURANDO O EXCEL	25
5.3. ENTENDENDO OS RESULTADOS OBTIDOS	27
6. MÉTODO SIMPLEX	29
6.1. EXERCÍCIOS SOBRE O MÉTODO SIMPLEX	30
7. PROBLEMA DO TRANSPORTE	32
7.1. O MODELO LINEAR DO TRANSPORTE	32
7.2. SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DO TRANSPORTE	33
7.3. PRIMEIRA PARTE DA SOLUÇÃO DE TRANSPORTE	33
7.3.1. MÉTODO DO CANTO NOROESTE	34
7.3.2. MÉTODO DE VOGEL OU MÉTODO DAS PENALIDADES	34
7.4. SEGUNDA PARTE DA SOLUÇÃO DE TRANSPORTE	34
7.5. O PROBLEMA DA DEGENERESCÊNCIA	35
7.6. IMPOSSIBILIDADE DE TRANSPORTE	35
7.7. EXERCÍCIOS SOBRE PROBLEMAS DE TRANSPORTES	35
8. PROBLEMAS DA DESIGNAÇÃO	38
8.1. EXERCÍCIOS SOBRE DESIGNAÇÃO	38
9. PERT/CPM	41
9.1. HISTÓRICO	41
9.2. CONCEITO DE PERT/CPM	41
10. JOGO DE EMPRESAS	44
10.1. OBJETIVOS DOS JOGADORES	44
10.2. CRITÉRIO DE PONTUAÇÃO	44
10.3. DECISÕES ESTRATÉGICAS	45
10.4. SELEÇÃO DOS JOGADORES	45
10.5. VALOR DO CAPITAL	45
10.6. VALOR DA FOLHA DE PAGAMENTO	45
10.7. VALOR EM PUBLICIDADE	46
10.9. PERCENTUAL DO LUCRO	46
10.10. QUANTIDADE PREVISTA DE VENDA	46
10.11. RESULTADO PARCIAL	46
10.12. REDUÇÃO DOS GASTOS GERAIS DE FABRICAÇÃO	47
10.13. PREÇOS DE MATÉRIA-PRIMA	47
10.14. POLÍTICA DE COMPRAS	47
10.15. CONTROLE DE QUALIDADE	47
10.16. ABATIMENTO	48
10.17. REGRAS DE CÁLCULO	48
10.18. PARAMETRIZAÇÃO	54

11. GRÁFICO DE GANTT.....	55
11.1. CONCEITO	55
11.2. FUNÇÃO.....	55
11.3. COMO FAZER O GRÁFICO DE GANTT	55
11.4. REGRAS DE SEQUENCIAMENTO	55
11.5. CARACTERÍSTICAS PARA O USUÁRIO.....	55
11.6. COMO CALCULAR.....	56
11.7. EXERCÍCIO SOBRE GRÁFICO DE GANTT	56
12. SIMULAÇÃO	59
12.1. METODOLOGIA PARA A SIMULAÇÃO DE SISTEMAS	59

1.PESQUISA OPERACIONAL ("OPERATIONS RESEARCH")

1.1.CONCEITO

Não há definição unânime para Pesquisa Operacional (P.O). A P.O é, mais, um conceito (abstração, idéia), muito abrangente, sobre a busca da melhor utilização (técnica, econômica, social, política) de recursos (escassos) e processos (diversos), através da aplicação de métodos científicos, visando a maior satisfação (utilidade, prazer) do cliente (usuário, público), definidos num contexto (conjunto, totalidade).

O desenvolvimento de um trabalho de P.O envolve equipes multi-disciplinares para a aplicação dos métodos científicos a problemas reais encontrados nos sistemas de produção de bens e serviços, como ferramenta auxiliar para a tomada de decisões, em quaisquer setores e níveis da economia.

1.2. HISTÓRICO

Em comemoração à passagem de seus 25 anos de existência, a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO) publicou, em 1993, o resultado de uma pesquisa junto a empresas e instituições brasileiras de ensino, com o objetivo de fornecer um retrato do uso e do ensino da Pesquisa Operacional em nosso país: SOBRAPO. Vinte e Cinco Anos de Pesquisa Operacional no Brasil. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 1993. 139 p. (Edição Comemorativa).

Nos anos 50, professores da USP, ITA e PUC-RJ, com formação no exterior, criaram os primeiros cursos de graduação que incluíam disciplinas de P.O, como o de Engenharia da Produção, e que foram incluídas também em outros cursos, já existentes, como os de Economia, Engenharia, Matemática e Estatística.

A partir de 1960, a criação de cursos de pós-graduação na área de P.O e a aquisição dos primeiros computadores multiplicaram as possibilidades de sua aplicação. Várias empresas começaram a utilizar a P.O, estreitando um proveitoso relacionamento com as Universidades.

O primeiro exemplo desta relação foi o da PUC-RJ com as empresas SOCIL e Anhanguera, para o desenvolvimento de programas de minimização de custo de rações para animais, através de Programação Linear.

Mas os principais setores a empregar técnicas de P.O, na época, foram os de siderurgia (CSN, Cia. Vale do Rio Doce), eletricidade (Cia Nacional de Energia Elétrica), transportes (FRONAPE), petróleo (PETROBRÁS, ESSO) e telecomunicações, além de grandes projetos e obras estatais.

Em função disso, foi criada, em 1968, a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO).

A década seguinte consolidou a P.O, no Brasil, com o maior interesse das empresas e o maior contingente de profissionais habilitados na área, permitindo a formação de grupos próprios de P.O, visando a solução de

problemas táticos e o planejamento estratégico, naquelas empresas.

Em 1978, a SOBRAPO organizou o 1º Seminário de P.O Aplicada à Agropecuária (SEPOAGRO), em Campinas (S.P.), sendo o segundo realizado em Viçosa dois anos depois.

Nos anos seguintes, embora consolidada, a P.O aplicada ao planejamento estratégico de empresas perdia o sentido frente à situação imprevisível da economia nacional. Ao mesmo

tempo, no entanto, houve grande incremento do instrumental científico, com o desenvolvimento de softwares e dos microcomputadores.

Profissionais da área, citados na edição comemorativa dos 25 anos da SOBRAPO (1993), acreditam que a P.O ganha um novo impulso, nesta década, nas áreas de administração (tomada de decisões), visando a qualidade dos processos de produção e atendimento (serviços, desenvolvimento de linhas de produtos, comercialização e marketing).

1.3. PESQUISA OPERACIONAL - PO NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas (SP)

Desenvolve, desde 1975, aplicações de modelos de simulação no planejamento de recursos hídricos (Faculdade de Engenharia Civil) e de P.O na agricultura, formando um grupo de consultores independentes (UNISOMA) e vários convênios com empresas como a PETROBRÁS, ELETROBRÁS, TELEBRÁS e IBM, dentre outras.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SP)

Criou cursos de pós-graduação, a partir de 1978, em várias linhas, dentre elas: o desenvolvimento de softwares, pesquisas relacionadas à inteligência artificial e P.O (otimização combinatória, aplicada em áreas da Coordenação de Observação da Terra, processos estocásticos e simulação). Utiliza os resultados destas pesquisas, por exemplo, em trabalhos de roteamento de distribuição de água para comunidades do Ceará (Governo do Estado), estudos de confiabilidade do primeiro satélite brasileiro, por meio de simulação, e otimização dos processos de operação de fábricas de circuitos impressos.

ITA - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (SP)

Desde 1961, mantém cursos de pós-graduação em Eng^a da Produção e, a partir de 1973, em P.O., desenvolvendo processos estocásticos e planejamento da produção aplicados às áreas de planejamento energético, transportes aéreos e planejamento da produção de empresas, como a EMBRAER.

IME - Instituto Militar de Engenharia

A P.O é parte do curso de Eng^a de Sistemas. O Instituto relaciona-se com a Marinha, o Exército e com diversas empresas, aplicando suas pesquisas em projetos nas áreas de comunicação via satélite, problemas de localização e de roteamento (otimização) e de qualidade em sistemas (gestão em Qualidade Total e qualidade de softwares).

USP - Universidade de São Paulo (SP)

Mantém cursos de P.O em nível de pós-graduação desde a década de 60. Os principais núcleos de P.O estão na Escola Politécnica (Departamento de Eng^a da Produção, Eng^a Naval e Eng^a de Transportes), Faculdade de Economia e Administração e Instituto de Matemática e Estatística (Centro de Computação e Matemática Aplicada). Relaciona-se com empresas

como a INFRAERO, MARINHA, DERSA e DOCAS, além de atuar junto aos mercados financeiros e Bolsa de Valores (bolsa de mercado futuro, através de simulação, cenários e análises de risco).

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro (RJ)

A COPPE (Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia) criou o Programa de Eng^a da Produção em 1967, com as áreas de Gerência da Produção e de Pesquisa Operacional. Os Programas de Eng^a de Sistemas, Computação, Administração, Eng^a de Transportes e o Instituto de Matemática também incluem a P.O. . As áreas de concentração teórica destes grupos são: programação matemática, grafos, combinatória, aplicações estatísticas, simulação, otimização, ciências da computação (desenvolvimento de softwares e algoritmos). A COPPE relaciona-se com diversas empresas públicas (Telerj, Cepel, governos estaduais) e privadas (IBM). Sua contribuição teórica ao desenvolvimento da P.O pode ser atestada pelo número de Teses defendidas (331, até 1992).

PUC - Pontifícia Universidade Católica (RJ)

Inclui a P.O em seus cursos de Eng^a Industrial, Eng^a Elétrica, Informática, Eng^a da Produção e de Sistemas. As aplicações estão nas áreas de finanças (análises de investimentos de risco e mercado de capitais), gerência da produção (logística, localização, planejamento empresarial e controle de qualidade) e na área de transportes (redes, planejamento de operações). Desenvolve os aspectos metodológicos, como a modelagem, para problemas de grande porte, na área de programação matemática, bem como estudos de previsão (redes neurais), de análise de séries temporais e de inteligência artificial nos processos de decisão. Relaciona-se com diversas empresas, como a PETROBRÁS, Cia. Vale do Rio Doce, DATAPREV, MBR, Estaleiro Mauá, Rede Globo, Bamerindus e Brahma.

UFV - Universidade Federal de Viçosa (MG)

A P.O desenvolveu-se, a partir dos anos 60, com a criação da disciplina de Programação Linear a cargo do Departamento de Matemática, no curso de mestrado em Economia Rural. Com a aquisição do primeiro computador, na década de 70, disciplinas de Programação Linear e Não-Linear foram incorporadas também a outros cursos (Eng^a Florestal, de Alimentos, Eng^a Agrícola e de Zootecnia). Nos anos 80, foi criado o curso de graduação em Informática e novas disciplinas de P.O foram incluídas nos diversos cursos de graduação. A UFV desenvolveu sistemas de Programação Linear e Otimização em Redes (PROL, PROLIN - para microcomputadores, e REDE) para aplicação em problemas de localização, tipo e tamanho de baterias de fornos para carvão vegetal, planejamento florestal, avaliação genética de espécies, gerenciamento de laticínios e para atividades de controle na central de processamento de dados, dentre outras.

Outras Universidades

Muitas outras Instituições brasileiras mantêm cursos de graduação e de pós-graduação em que as aplicações das técnicas de P.O são enfatizadas. É o caso da U.F. de Juiz de Fora, que criou o Grupo de Estudos de Simulação, que atua em análises de impacto por simulação; o

Núcleo de Pesquisas Econômicas, atuando em análises e previsões da produção industrial de M.G., através de séries temporais. A Faculdade de Eng^a Elétrica desenvolve com a EMBRAPA softwares para a agropecuária e um projeto de informatização da pecuária leiteira (técnicas de análise de Cluster; para classificar dados de questionários, entrevistas e bases de dados da EMBRAPA).

A U.F. do Ceará atua junto a diversas empresas de petróleo, energia, telecomunicações e siderurgia, dentre outras. Na área de alimentos, desenvolve com a FRUTOP um sistema de otimização da produção, atualizando o modelo através da geração de dois cenários mensais, visando determinar a alocação de máquinas, quantidade matéria-prima, dimensionamento e divisão da mão-de-obra, por turnos e por máquina, e planejamento da produção, por produto e por máquina.

1.4. ÁREAS DE APLICAÇÃO E TÉCNICAS UTILIZADAS

Resumo das áreas e técnicas de P.O mais citadas nos 24 Simpósios da SOBRAPO, até 1992, em cerca de 1000 trabalhos. Fonte: SOBRAPO (1993)

Área	% de Trabalhos
Transportes	21
Energia	19
Economia e Finanças	11,5
Logística	9
Planejamento e Controle da Produção	8
Telecomunicações	8
Siderurgia	6,5
Agropecuária	5
Administração	4
Saúde	2,5
Educação	2
Outras	3,5

Técnica Utilizada	% de Trabalhos
Programação Matemática	26
Grafos	14
Séries Temporais/Modelos de Previsão	14
Estatística	11
Otimização	9
Processos Estocásticos	6
Técnicas de Análise Combinatória	4,5
Teorias de Decisão e de Jogos	4
Sistemas Especialistas	3
Heurísticas	3
Fluxos em Rede	2
Teoria de Filas	2

Redes Neurais	1,5
---------------	-----

1.5. PESQUISA OPERACIONAL NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

A P.O tem sido aplicada no setor agropecuário, no Brasil, embora não com o mesmo destaque de outros setores, como transportes, energia, telecomunicações e finanças.

Existem três âmbitos para aplicação das técnicas de P.O. neste setor:

- Unidades de produção agropecuária (fazendas, empresas rurais);
- Agroindústrias;
- Planejamento estratégico e desenvolvimento de políticas agropecuárias.

a) Aplicações da P.O em Unidades de Produção Agropecuária

Neste âmbito, a P.O. aplica-se a situações melhor definidas, de modo geral, já que os problemas podem ser limitados a um ambiente ou contexto, isto é, é possível caracterizar uma unidade de produção e identificar mais facilmente as variáveis que poderão compor o modelo (disponibilidade de área, tipo de clima e solo, capacidade de produção, definição de tecnologias em função do perfil e das preferências do produtor e do mercado etc.). Essa visão "micro"; e segmentada em relação aos outros âmbitos de aplicação da P.O. não diminui, no entanto, os riscos e incertezas do negócio agropecuário, mas facilita a formulação dos problemas, a tomada de decisões e a validação das soluções implementadas.

Aplicações da P.O em Agroindústrias

Exemplo: SADIA

Em 1990, a SADIA contratou uma consultoria (UNISOMA) para implantar um controle integrado de suas atividades de produção (aves, suínos e rações), transformação de carnes e comercialização.

Como parte do programa, foram desenvolvidos os seguintes projetos:

- Formulação de rações: todas as fábricas usam o software MULTIFOR, de formulação otimizada de misturas, que usa a Programação Linear com estrutura de bloco angular, possibilitando a solução de problemas de grande porte (4.000 equações e 6.000 variáveis) em microcomputadores. O mesmo é utilizado pela PERDIGÃO e pela M.CASSAB.
- Planejamento Integrado da Produção Avícola: O "PIPA"; foi implantado em sete unidades de integração (tipo de operação comercial entre os produtores e a indústria), responsáveis pelo abate de 25 milhões de aves, por mês. O sistema permite 4.000 equações e até 30.000 variáveis e visa otimizar:
 - datas de alojamento e de abate de cada lote de aves, respeitando as capacidades dos abatedouros e o perfil dos produtos, em diversas faixas de peso;
 - previsão de suprimento de matéria-prima;
 - compra e estoque de ingredientes em múltiplos períodos;
 - planejamento de vendas para os mercados interno e externo;
 - roteamento de entregas de pintinhos de 1 dia aos produtores integrados;
 - controle de atividades dos abatedouros.

A base de dados deste sistema inclui análises estatísticas de curvas de crescimento dos lotes, consumo de ração, mortalidade em diversas fases, rendimento dos cortes e outras, que são continuamente atualizadas para servirem de dados de entrada para as otimizações.

c) Estudos de mercado

Criação de cenários através de combinações de dados dos mercados interno e externo, desenvolvimento e redefinição de "famílias"; ou linhas de produtos, atendimento aos clientes, avaliação de oportunidades e análises conjuntas de preferências de mercado.

A SADIA tenciona implantar sistemas na área de gerenciamento (com os programas de Qualidade Total e de reengenharia).

d) A empresa consultora

Além dos trabalhos desenvolvidos para a SADIA, a UNISOMA, empresa de consultoria em modelagem matemática para processos produtivos, formada em 1984 por ex-professores da UNICAMP, tem adaptado a microcomputadores alguns sistemas de apoio a processos decisórios, nos quais estão incluídos pacotes comerciais de Estatística, de Programação Matemática, de Simulação e de Otimização: CSS e SAS-IBM (estatística), GAMS, SIMULA, GPSS (linguagens de programação e simulação), OSL-IBM (Otimização), MPSX-IBM e OMNI (Programação Matemática) e RISK.

1.6. OUTROS EXEMPLOS

a) COOPERSUCAR

São Paulo é o 1º produtor nacional de cana-de-açúcar. A Cooperativa de produtores do Estado iniciou, em 1984, a aplicação de técnicas de P.O (Programação Linear Inteira Mista) nas seguintes atividades:

- planejamento da colheita;
- reforma de canaviais;
- transporte.

A perspectiva é usar mais as técnicas de Simulação e Inteligência Artificial.

b) Transportes

Distância máxima economicamente viável para o Transporte de Cana-De-Açúcar da Área de Produção para a Usina Receptora: Um Estudo De Caso (Brunoro, 1996).

Esse estudo mostra o problema da perda de renda do produtor com transporte de cana. A distância entre o mercado consumidor e a localização produtiva aumenta linearmente os custos e, da mesma forma, baixa os rendimentos, podendo torná-los nulos.

Estudos a respeito remontam ao economista alemão Von Thünen no ano de 1826, nos quais ele monta um sistema de equações em equilíbrio estático de distribuição das atividades agrícolas sobre o espaço geográfico. Para se minimizar o custo-transporte deve-se localizar a área de produção próxima à usina, aumentar a produtividade ou o corte de outros custos.

Devido à escassez de dados históricos, o autor afirma ser a construção do modelo de Programação Linear o resultado mais importante de seu trabalho. O trabalho objetivou verificar o efeito das variáveis renda e risco nas possíveis combinações de atividades e na alocação de recursos produtivos.

c) Empresa Agrícola

Subsídios ao Processo de Decisão: Um Estudo de Caso em uma Empresa Agrícola na Região do Triângulo e Alto Paranaíba, MG (OLIVEIRA, 1994).

Neste trabalho foram utilizados:

Programação Linear, derivada da análise de "portfolio", desenvolvida por Markowitz (1952), que permite selecionar o nível das diversas explorações; neste caso o nível foi quantificado em termos de área ocupada, dadas as restrições, visando maximizar uma função objetivo, a renda;

O autor objetivou verificar o efeito das variáveis renda e risco nas possíveis combinações de atividades e na alocação de recursos produtivos.

d) Empresa Florestal

Um Modelo de Planejamento para uma Empresa Florestal (ANDRADE JÚNIOR et al, 1982).

Na composição dos custos do aço produzido, o carvão participa com cerca de 40% do custo total, considerando-se, inclusive, o custo da mão-de-obra direta. Foi desenvolvido pelos autores uma modelagem objetivando minimizar um orçamento no horizonte de 19 anos, sendo os orçamentos anuais atualizados com uma taxa de juros ao ano. O modelo utiliza 6681 linhas e 12994 variáveis. As incertezas decorrentes do horizonte de 19 anos, adequado ao ciclo florestal, serão abordadas através de atualizações dos coeficientes da matriz, com processamentos periódicos.

d) Programa Integrado de Transporte de Soja (CARNIERI et All, 1983)

O trabalho refere-se ao transporte de soja em grãos dos armazéns das cooperativas para as fábricas de óleo e farelo ou para o Porto de Paranaguá. A margem de lucro que os preços da soja permitiam à época era pequena, tornando o custo de transporte (de 5 a 15% do valor da mercadoria) um valor elevado.

Na média dos casos estudados obteve-se cerca de 15% de economia, em relação ao custo total.

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E DESENVOLVIMENTO DE POLÍTICAS AGROPECUÁRIAS.

O setor agropecuário, no Brasil, sempre foi penalizado pela falta de políticas e excesso de controle do Governo. Resta ao empresariado rural ajustar-se aos riscos e incertezas inerentes aos negócios agropecuários e também trabalhar em equipe para conquistar, politicamente, melhores condições para produzir e comercializar seus produtos.

Vislumbra-se na análise das cadeias produtivas, do setor agropecuário, um excelente campo para aplicação das técnicas de P.O., com vistas a agregar valor ao produto agrícola, pelo aumento de eficiência nas atividades e nos processos inerentes aos diversos mercados que compõem essas cadeias.

2. TEORIA DA DECISÃO

Conceito: conjunto específico de técnicas que auxiliam o tomador de decisão a reconhecer as particularidades do seu problema e a estruturá-lo.

Decisão: é um curso de ação escolhido como o meio mais efetivo a sua disposição, para obter os objetivos procurados (resolver o problema detectado).

Natureza das informações disponíveis:

- Conhecida com certeza,
- Estimada
- Pouco ou nada precisa.

Exigências do Tomador de decisão:

- Raciocínio,
- Bom senso,
- Julgamento (histórico/experiência).

2.1. ELEMENTOS DE UM PROBLEMA DE DECISÃO

- Alternativas*: São as possíveis soluções do problema.
- Estados da natureza*: São as ocorrências futuras que podem influir sobre as alternativas, fazendo com que elas possam apresentar mais de um resultado. Algumas vezes uma distribuição de probabilidade rege a ocorrência de cada estado da natureza.
- Resultados*: São as consequências das alternativas. Uma alternativa pode ter mais de um resultado. É preciso selecionar os resultados relevantes para o problema em questão.

2.2. MATRIZ DE DECISÃO (modelo)

Alternativas	Estados da Natureza			
	EN ₁	EN ₂	EN...	EN _k
A ₁	R ₁₁	R ₁₂	R...	R _{1k}
A ₂	R ₂₁	R ₂₂	R...	R _{2k}
A ₃	R ₃₁	R ₃₂	R...	R _{3k}
A...	R...	R...	R...	R...
A _n	R _{n1}	R _{n2}	R...	R _{nk}

2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE DECISÃO

Decisão tomada sob risco: são aquelas onde podemos, objetiva ou subjetivamente, atribuir probabilidades de ocorrência aos estados da natureza.

- V.E.A.*: é a soma dos produtos, dos resultados da alternativa pelas respectivas probabilidades dos estados da natureza a eles associados;
- V.E.I.P.*: é o ganho excedente sobre a decisão tomada com o conhecimento da decisão perfeita. Quanto mais apurada essa informação mais cara ela será. Ela nos diz "Até quanto pode-se pagar por essa informação?"

Decisão tomada sob incerteza: são aquelas onde desconhecemos e não podemos atribuir probabilidade aos estados da natureza. Conhecemos os estados possíveis, mas não temos para eles probabilidades estabelecidas.

- a) *Critério Maximin:* é o máximo entre os números. Para cada alternativa, anotamos o pior resultado, comparando todas as alternativas entre si, escolhemos aquela que conduz a menos ruim.
- b) *Critério Maximax:* o máximo dos máximos. Dados os melhores resultados de cada alternativa, escolhe-se aquela com o melhor entre os melhores;
- c) *Critério de Laplace:* utiliza todos os dados da matriz de decisão supondo iguais todas as probabilidades dos estados da natureza;
- d) *Critério do mínimo arrependimento:* procura minimizar o arrependimento pela escolha de um alternativa errada. O arrependimento é o que se perde por não ter escolhido a melhor alternativa quando considerado um estado da natureza.

2.4. EXERCÍCIOS SOBRE TEORIA DA DECISÃO

- 1) Uma empresa necessita tomar uma decisão pois suas vendas estão crescendo, deste modo ela poderá usar as instalações existentes para aumentar a produção (até um certo limite) ou construir novas instalações incrementando esta produção. Como estados da natureza ela poderá ter uma demanda baixa, média ou alta com probabilidades respectivas de 20%, 30% e 50%. Sabendo-se que se a empresa optar pelo uso de instalações existentes ela terá: prejuízo de \$100.000 com baixa demanda, lucro de \$100.000 com média demanda e lucro de \$200.000 com alta demanda. Se ela optar em construir novas instalações as perspectivas são: prejuízo de \$300.000 se a demanda for baixa, lucro de \$0 se a demanda for média e lucro de \$400.000 se a demanda for alta. Pede-se:
 - a) A matriz de decisão.
 - b) Calcule o VEA, qual a solução escolhida?
- 2) Uma organização financeira pode optar pelas seguintes alternativas: vender suas ações ou continuar com as ações esperando uma elevação nos preços para a venda posterior. Como as ações estão em baixa um comprador propôs um pagamento de \$150.000 para a venda imediata mais um adicional de \$1.000.000 se as ações num prazo de um ano atingirem o aumento esperado. Se a empresa resolver não vender as ações o prejuízo será de \$400.000 se as ações não subirem em um ano, mas se elas atingirem o aumento esperado ela terá um lucro de \$1.500.000 vendendo-as posteriormente. Supondo-se que os estados naturais as ações não subirem e as ações subirem tem probabilidade respectiva de 70% e 30%. Pede-se:
 - a) A matriz de decisão.
 - b) Cálculo do VEA. Qual a solução escolhida?
 - c) Pelo VEIP, qual o preço máximo a ser pago pela informação?
Se não houver probabilidade para os estados naturais, pede-se:
 - d) Qual a melhor solução pelo critério Maximin?
 - e) Qual a melhor solução pelo critério Maximax?

- f) Qual a melhor solução pelo critério Laplace?
- g) Qual a melhor solução pelo critério do Mínimo Arrependimento?
- 3) Um atacadista trabalha com a venda de determinada fruta. Estas são compradas no Domingo e vendidas toda segunda-feira. O atacadista paga \$200 por centena de fruta e revende por \$400 a mesma centena. Para facilitar os calculos, vamos admitir que a demanda das frutas assuma os valores de 50, 100 e 150 centenas. O atacadista poderá comprar qualquer uma destas quantidades, mas não sabe de antemão quais serão as suas demandas, conhecendo apenas a sua probabilidade (estimada pelo histórico do atacadista). Vamos admitir que se por acaso o atacadista comprar mais frutas do que vende na Segunda-feira ele perde completamente as frutas não vendidas. Sabendo-se que o atacadista estima em 35%, 45% e 20% respectivamente, a probabilidade de que a demanda seja 50, 100 e 150 centenas. Dentro desta situação pede-se:
- a) A matriz de decisão.
- b) A melhor decisão tomada sob risco (VEA).
- c) O valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Supondo que o atacadista esteja iniciando no ramo, e não tenha histórico das demandas, portanto as probabilidades de ocorrência dos estados da natureza sejam desconhecidos. Pede-se:

- d) A melhor decisão tomada pelo critério Maximin.
- e) A melhor decisão tomada pelo critério Maximax.
- f) A melhor decisão tomada pelo critério Laplace.
- g) A melhor decisão tomada pelo critério do Mínimo Arrependimento.
- 4) Você é um tomador de decisão, que está diante de quatro alternativas e três estados da natureza. Analisando o seu problema, você consegue montar a matriz de decisão abaixo, onde os resultados indicam as despesas (em milhões de u.m., unidades monetárias, anuais) sob cada alternativa e estado da natureza.

alternativas	Estados da Natureza		
	EN ₁	EN ₂	EN ₃
A ₁	25	12	18
A ₂	8	20	34
A ₃	14	30	16
A ₄	20	15	25

Supondo as probabilidades dos estados da natureza sendo: EN₁ de 30%, EN₂ de 25% e EN₃ de 45%. Calcule:

- a) Escolha a melhor alternativa sob risco (VEA).
- b) Qual o valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Suponha agora que são desconhecidas as probabilidades de ocorrência dos estados da natureza. Qual a melhor decisão, utilizando:

- c) O critério de Laplace.
 d) O critério do Mínimo Arrependimento.
- 5) Você deve tomar uma decisão de quatro alternativas e três estados da natureza. Analisando o seu problema, você consegue montar a matriz de decisão abaixo, onde os resultados indicam as despesas (em mil UM mensais) sob cada alternativa e estado da natureza.

alternativas	Estados da Natureza		
	EN ₁	EN ₂	EN ₃
A ₁	9	16	22
A ₂	12	13	20
A ₃	15	10	17
A ₄	19	14	14

Supondo as probabilidades dos estados da natureza sendo: EN₁ de 45%, EN₂ de 30% e EN₃ de 25%. Calcule:

- a) Escolha a melhor alternativa sob risco (VEA).
 b) Qual o valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Suponha agora que são desconhecidas as probabilidades de ocorrência dos estados da natureza. Qual a melhor decisão, utilizando:

- c) O critério Maximin.
 d) O critério Maximax.
 e) O critério de Laplace.
 f) O critério do Mínimo Arrependimento.
- 6) Uma empresa produz os produtos X e Y, que devido as restrições internas e externas podem ser produzidos nas seguintes quantidades:
- 50 unidades de X, ou
 - 25 unidades de X e 30 unidades de Y, ou
 - 40 unidades de Y.

As probabilidades de venda são de respectivamente 30%, 45% e 25%. Sabendo-se que o custo de produção é de \$15,00 para X e \$20,00 para Y e o preço de venda é X = \$25,00 e Y = \$34,00. Pede-se:

- a) Escolha a melhor alternativa sob risco (VEA).
 b) Qual o valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Suponha agora que são desconhecidas as probabilidades de ocorrência dos estados da natureza. Qual a melhor decisão, utilizando:

- c) O critério Maximin.
 g) O critério Maximax.
 h) O critério de Laplace.

d) O critério do Mínimo Arrependimento.

7) Um supermercadista trabalha com a venda de determinado produto. Estes são comprados no sábado e vendidos toda segunda-feira. O supermercadista paga \$1200 por caixa de produto e revende por \$1500 a mesma caixa. Para facilitar os cálculos, vamos admitir que a demanda do produto assuma os valores de 80, 120, e 160 caixas. O supermercadista poderá comprar uma destas quantidades, mas não sabe de antemão quais serão as suas demandas, conhecendo apenas a sua probabilidade (estimada pelo histórico). Se por acaso o supermercadista comprar mais produtos do que vende na segunda-feira ele perde completamente os produtos não vendidos. Sabendo-se que o supermercadista estima em 40%, 15% e 45% respectivamente, a probabilidade de que a demanda seja 80, 120 e 160 caixas. Dentro desta situação pede-se:

- a) A matriz de decisão.
- b) A melhor decisão tomada sob risco (VEA).
- c) O valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Supondo que o supermercadista esteja iniciando no ramo, e não tenha histórico das demandas, portanto as probabilidades de ocorrência dos estados da natureza sejam desconhecidos. Pede-se:

- d) A melhor decisão tomada pelo critério de Laplace.
- e) A melhor decisão pelo critério do Mínimo Arrependimento.

8) Uma organização, que trabalha no ramo de compra e venda pode realizar junto ao seu fornecedor a compra de 5 ou 10 lotes do produto XH. Sabendo-se que as suas possibilidades de venda também são de 5 ou 10 lotes com probabilidades respectivas de 30% e 70%. Pede-se:

- a) A matriz de decisão.
- b) A melhor decisão tomada sob risco (VEA).
- c) O valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Suponha que as probabilidades dos estados de natureza são desconhecidas. Qual a melhor decisão, utilizando:

- d) O critério Maximin.
- e) O critério Maximax.
- f) O critério de Laplace.

OBS: o custo do produto XH é de \$10/lotes e o preço de venda do produto XH é de \$15/lote.

3. PROGRAMAÇÃO LINEAR

É uma técnica da Pesquisa Operacional, denominação esta justificada porque considera-se que as restrições e condições impostas aos problemas de que se trata são expressas em termos Lineares.

Programação Linear consiste em dispor os dados de um problema cujas incógnitas guardem relações lineares, pede a forma de um sistema de equações e/ou inequações composto de uma equação chamada *objetivo* para qual deseja-se obter um resultado máximo ou mínimo sujeito a restrições ou condicionamento constituído por várias equações ou inequações.

Quando o número de incógnitas é igual a 2 ou 3 o sistema admite uma solução gráfica. Muito complicada no 2º caso por se tratar de um problema no espaço tri-dimensional. Os problemas com 4 ou mais incógnitas pertencendo a um espaço n-dimensional só admitem soluções algébricas através do calculo matricial.

Os três principais grupos de problemas que podem ser resolvidos por Programação Linear são os seguintes:

- a) Misturas de ingredientes com composição e preços conhecidos para atender a determinadas especificações (de composição ou de estoque) a custo mínimo ou lucro máximo: Noções balanceadas para animais, refeições, abastecimento de comunidades ou tropas, combustíveis e lubrificantes, fertilizantes e corretivos, defensivos agrícolas, perfumes e cosméticos, ligas metálicas, Industria de alimentos, etc.
- b) Transporte, distribuição ou alocação, em que se procura determinar as quantidades a transportar segundo as vias alternativas possíveis a frequência ou períodos de transporte e as especificações quanto a operação levando em conta os custos (frete, risco capital empatado, prêmios e multas, embalagem, armazenamento, capacidade dos meios, etc...). A política de Transporte e o fator a maximizar ou minimizar (custos, quantidades, tempo, etc...). Entre as áreas de utilização cita-se: abastecimento, distribuição de produtos, transporte de cargas ou pessoas, etc..
- c) Programas de Produção ou limitação de recursos nos setores agrícolas, industrial ou de serviços, como o seguinte modelo típico:
 - Uma empresa oferece várias alternativas de serviços ou pode fabricar ou produzir vários bens;
 - Conhece-se as quantidades de insumos necessários para a produção de uma unidade do bem ou serviço: mão-de-obra, área, material, equipamento, força, etc...
 - Conhece-se as restrições do mercado quanto aos limites inferiores e superiores de produção ou demanda do bem ou serviço;
 - Conhece-se as disponibilidades dos insumos por parte da empresa;
 - Conhece-se o valor ou lucro unitário dos bens ou serviços a serem produzidos;
 - Deseja-se obter o melhor programa de produção que pode ser: maximizar os lucros, maximizar o volume de produção, maximizar ou minimizar o emprego de determinado insumo, minimizar o tempo ocioso de pessoas ou equipamentos, etc...

3.1. FASES DE UM ESTUDO EM P.O.

Um estudo em Pesquisa Operacional costuma envolver seis fases:

- formulação do problema;
- construção do modelo do sistema;
- cálculo da solução através do modelo;
- teste do modelo e da solução;
- estabelecimento de controles da solução;
- implantação e acompanhamento;

Formulação do Problema: nesta fase, o administrador do sistema e o responsável pelo estudo em PO deverão discutir, no sentido de colocar o problema de maneira clara e coerente, definindo os objetivos a alcançar e quais os possíveis caminhos alternativos para que isso ocorra.

Além disso, serão levantadas as limitações técnicas do sistema e as relações desse sistema com outros da empresa ou do ambiente externo, com a finalidade de criticar a validade de possíveis soluções em face destes obstáculos.

Deverá ainda ser acordada uma medida de eficiência para o sistema, que permita ao administrador ordenar as soluções encontradas, concluindo processo decisório.

Construção do Modelo do Sistema: os modelos que interessam em Pesquisa Operacional são os modelos matemáticos, isto é, modelos formados por um conjunto de equações e inequações.

Uma das equações do conjunto serve para medir a eficiência do sistema para cada solução proposta. É a função objetivo ou função de eficiência. As outras equações geralmente descrevem as limitações ou restrições técnicas do sistema. Um bom modelo é aquele que tem desempenho suficientemente próximo do desempenho da realidade e é de fácil experimentação. Essa proximidade desejada é variável, dependendo do objetivo proposto. Um bom modelo para um objetivo pode ser péssimo para outro. A fidelidade de um modelo é aumentada à medida que ele incorpora características da realidade, com a adição de novas variáveis. Isso aumenta sua complexidade, dificultando a experimentação, o que nos leva a considerar o fator custo-benefício quando pensamos em melhorar o desempenho de um modelo.

Cálculo da solução através do modelo: é feito através de técnicas matemáticas específicas. A construção do modelo deve levar em consideração a disponibilidade de uma técnica para o cálculo da solução.

Teste do modelo e da solução: esse teste é realizado com dados empíricos do sistema. Se houver dados históricos, eles serão aplicados no modelo, gerando um desempenho que pode ser comparado ao desempenho observado no sistema. Se o desvio verificado não for aceitável, a reformulação ou mesmo o abandono do modelo será inevitável. Caso não haja dados históricos, os dados empíricos serão anotados com o sistema funcionando sem interferência, até que o teste possa ser realizado.

Estabelecimento de controles da solução: a construção e experimentação com o modelo identificam parâmetros fundamentais para solução do problema. Qualquer mudança nesses parâmetros deverá ser controlada para garantir a validade da solução adotada. Caso alguns desses parâmetros sofra desvio além do permitido, o cálculo de nova solução ou mesmo a reformulação do modelo poderá ser necessária.

Implementação e acompanhamento: nesta fase, a solução será apresentada ao administrador, evitando-se o uso da linguagem técnica do modelo. O uso da linguagem do sistema em estudo facilita a compreensão e gera boa vontade para a implantação que está sendo sugerida. Essa implantação deve ser acompanhada para se observar o comportamento do sistema com a solução adotada. Algum ajuste pode ser requerido.

3.2. EXEMPLO DE UM PROBLEMA DE PL.

Um fabricante deseja maximizar a receita bruta. A tabela abaixo mostra as composições das ligas, seus preços e as limitações na disponibilidade de matéria-prima. Resolva graficamente.

	Liga tipo A	Liga tipo B	Matéria-prima
Cobre	2	1	16
Zinco	1	2	11
Chumbo	1	3	15
Preço Unit. De venda	30	50	

Resposta:

Variáveis de decisão: X_a - qtde. de liga A a ser produzida.

X_b - qtde. de liga B a ser produzida.

O objetivo é maximizar o valor das vendas totais Z .

Portanto, o objetivo é:

$$\text{Max } Z = 30X_a + 50X_b$$

Restrições:

$$2X_a + X_b \leq 16 \text{ \{restrição de cobre\}}$$

$$X_a + 2X_b \leq 11 \text{ \{restrição de zinco\}}$$

$$X_a + 3X_b \leq 15 \text{ \{restrição de chumbo\}}$$

Onde: X_a e $X_b \geq 0$ {não podemos fabricar quantidade negativa de liga}

3.3. EXERCÍCIOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

1) Suponha que você é o gerente do Armazém ABC, que todo mês envia o produto X para ser vendido a varejo em três cidades Araranguá, São José e Joaçaba. Assuma que as quantidades enviadas para essas cidades são as seguintes:

- Araranguá: X_1 unidades.
- São José X_2 unidades.
- Joaçaba: X_3 unidades.

a) Qual as variáveis de decisão?

b) Desenvolva um modelo para determinar o total mensal de unidades do produto enviados para o conjunto das três cidades.

- c) Suponha que a demanda de Araranguá nunca é superior a 5000 unidades, incorpore esta restrição ao sistema.
 - d) Suponha que a demanda de São José é sempre maior que o dobro da demanda de Joaçaba, incorpore esta restrição.
 - e) Suponha que o Armazém ABC jamais terá mais que 20000 unidades do produto para enviar ao conjunto das três cidades. Como se expressa esta restrição?
- 2) No problema anterior, suponha que o Armazém ABC, por acordo com seus varejistas, tenha sobre si todos os encargos com custo de transporte; o Armazém quer enviar quantidades de produto tais que esse custo total de transporte seja mínimo, respeitadas as seguintes condições adicionais:
- a) Araranguá não pode receber menos que 4.000 unidades do produto.
 - b) São José não pode receber menos que 10000 unidades do produto.
 - c) Os custos de transporte por unidade de produto são os seguintes:
 - R\$ 1 00,00 para Araranguá
 - R\$ 120,00 para São José
 - R\$ 80,00 para Joaçaba

Montar as restrições adicionais e a expressão do custo total que se quer minimizar (função objetivo).

- 3) Uma empresa produz dois produtos X e Y utilizando três equipamentos distintos um torno (T), uma prensa (P) e uma furadeira (F). Cada máquina conta com 180, 240 e 600 horas disponíveis, respectivamente, sendo que cada produto é obrigado a passar por todas elas, O produto X passa três horas em T, duas horas em P e seis horas em F. O produto Y passa duas horas em T, quatro em P e cinco em F. Sabendo que vende X por \$ 60,00, Y por \$80,00 e que o custo de X é de \$39,00 e o de Y é de \$60,00:
- a) Quais as variáveis de decisão?
 - b) Desenvolva a função objetivo que maximiza os lucros
 - c) Quais as restrições?
- 4) Considere uma planta de manufatura capaz de produzir dois produtos P e Q, cujo lucro por unidade seja \$6,00 e \$8,00, respectivamente. O processo produtivo envolve duas operações corte e furação. Para a operação de corte há 2 máquinas disponíveis e para a operação de furação há 3 máquinas em disponibilidade. Considerando que cada máquina opera 200horas/mês e que para produzir uma unidade do produto P sejam necessárias 8 horas de corte e 4 de furação e para a produção de uma unidade do produto Q sejam consumidas 4 horas de corte e 10 horas de furação. Pede-se:
- a) Quais as variáveis de decisão?
 - b) Desenvolva um modelo matemático que permita a determinação do mix de produtos que maximize o lucro total durante um mês (função objetivo e restrições).
- 5) Obtenha uma mistura de produtos que contenha os nutrientes necessários e apresente o mínimo custo. Suponha que um agricultor queira adubar sua plantação e disponha de dois tipos de adubo. O adubo tipo A possui 6g de fósforo, 2g de nitrogênio e 16g de potássio

para cada kg, a um custo de \$20,00/kg. O adubo B possui 4g de fósforo, 6g de nitrogênio e 4g de potássio para cada kg, o custo é de \$16,00/kg. Sabe-se que é necessário 1 kg de adubo para fertilizar 10 m² de terra e que o solo em que estão as suas plantações necessita de pelo menos 6g de fósforo, 3g de nitrogênio e 8g de potássio a cada 10 m² de terra. Desenvolva um modelo matemático para solucionar este problema. (a. variáveis de decisão, b. função objetivo, c. restrições).

- 6) Considere um sistema de manufatura capaz de produzir os produtos: P, Q, R e S. O preço de venda por unidade é, respectivamente, \$8,00; \$10,00; \$12,00 e \$14,00. Com base nas tabelas abaixo:

- a) Defina as variáveis de decisão.
b) Desenvolva um modelo matemático que maximize os ganhos de produção deste sistema de manufatura (função objetivo e restrições).

Tabela 1: Custo de Fornecimento

Produto	\$MP 1	\$MP2	\$MP3	\$ Outros	\$ Total
P	2			1	3
Q	2	2			4
R	3		2	2	7
S	4	3	3		10

Fonte: Depto Financeiro

Tabela 2: Matriz de Produção

Produto	Maq. A	Maq. B	Maq. C
P	10		1
Q	4		
R	3	2	3
S	6	5	
Total mensal de horas	600	200	120

Fonte : Depto de produção

Tabela 3 Demanda de Mercado

Produto	Demanda/mês unid.)	Preço de venda (\$)
P	10	8
Q	20	10
R	30	12
S	40	14

Fonte: Depto Comercial

- 7) Uma planta industrial fabrica garrafas plásticas com ou sem rótulo. As garrafas com rótulo são vendidas á \$10,50 o lote, enquanto que as garrafas sem rótulo tem uni preço de venda de \$8,00 por lote. Para produzir um lote de garrafas com rótulo são consumidos 5kg de plástico a \$1,00/kg, 0,5 m² de papel a \$2,00! m² e 1 frasco de tinta a \$1,00/frasco. Para produzir um lote de garrafas sem rótulo são consumidos 4kg de plástico a \$1,00/kg. A fabricação de um lote de garrafas com rótulo exige 15 minutos da

máquina de sopro, 10 minutos na operação de serigrafia, 5 minutos no recorte e 7 minutos de colagem. A produção de um lote de garrafas sem rótulo necessita de 20 minutos na máquina de sopro. A empresa opera num regime de 40 horas semanais e dispõe de 2 máquinas de sopro, 1 máquina de serigrafia e 1 máquina para recorte e colagem (na mesma máquina). Sabendo-se que no almoxarifado existe um estoque de 1200kg de plástico, 200 m de papel e 180 frascos de tinta e considerando-se que não haverá reposição antes de uma semana, determine:

- As variáveis de decisão.
 - Através da modelagem matemática a equação que maximiza o lucro semanal da empresa (função objetivo).
 - Quais as restrições do sistema?
- 8) Uma empresa fabrica os produtos A e B que são vendidos a \$20 e \$30 por unidade, respectivamente. Para a fabricação de uma unidade de A são necessárias 1 hora da máquina 1 e 3 horas de máquina 2, enquanto que para fabricar uma unidade de B são necessárias 3 horas de máquina 1 e 4 horas de máquina 2. A empresa trabalha 40 horas semanais e possui três máquinas 1 e quatro máquinas 2. Para produzir 1 unidade de A Gasta-se \$ 12/unidade e para B 120/unidade. Pede-se:
- Quais as variáveis de decisão?
 - Desenvolva a função objetivo que maximiza os lucros.
 - Quais as restrições?
- 9) Uma empresa produz os produtos X1, X2, X3 e X4. Com base nas tabelas abaixo:
- Quais as variáveis de decisão?
 - Desenvolva a função objetivo que maximiza os lucros.
 - Quais as restrições?

Tabela 1 : Custo de Produção

Produto	\$MPI	\$MP2	\$MP3	\$ MP4	\$ Outros
X1	3			1	3
X2		2	2		1
X3		4		3	2
X4	4		3		1

Fonte: Depto Financeiro

Tabela 2: Matriz de Produção

Produto	Maq ABC	Maq. BCD	Maq. CDE
X1		8	
X2	6		2
X3	5	4	5
X4	8	10	
Total mensal de horas	400	400	100

Fonte: Depto de produção

Tabela 3 Demanda de Mercado

Produto	Demanda/mês (unid.)	Preço de venda (\$)
X1	22	10
X2	18	10
X3	15	14
X4	25	13

Fonte Depto Comercial

- 10) Você está sendo contratado por uma grande empresa multinacional com um salário magnífico. Para isto você deve, apenas com o seu conhecimento, formular o mix ideal de produção para os lucros desta empresa. Como a empresa possui um software que calcula estes valores, seu único problema é montar as equações para alimentar o programa e aguardar as congratulações e o bônus salário de seu novo emprego (afinal você estudou com afinco a disciplina de Pesquisa Operacional).

A seguir estão as tabelas com os dados necessários para este simples cálculo

Valores monetários de matérias-primas e produtos

Produto	Preço de venda \$	Custo MP 1 \$	Custo MP 2 \$	Outros custos \$
P	100	20	20	5
Q	90	10	20	10

Fonte: Depto. Custos

Demanda semanal do mercado

Produto	Demanda unidade/semana
P	100
Q	80

Fonte: Depto de Vendas

Tempos de Produção em horas(*)

Produto	Máquina A(h)	Máquina B(h)	Máquina C(h)
P	10	12	12
Q	20	15	10

Fonte: Depto. Custos

(*) você dispõe de 2 máquinas A, 1 máquina B e 1 máquina C, cada máquina trabalha 2400 horas por semana.

Portanto, calcule:

- Quais as variáveis de decisão?
- Qual a função objetivo?
- Quais as restrições?

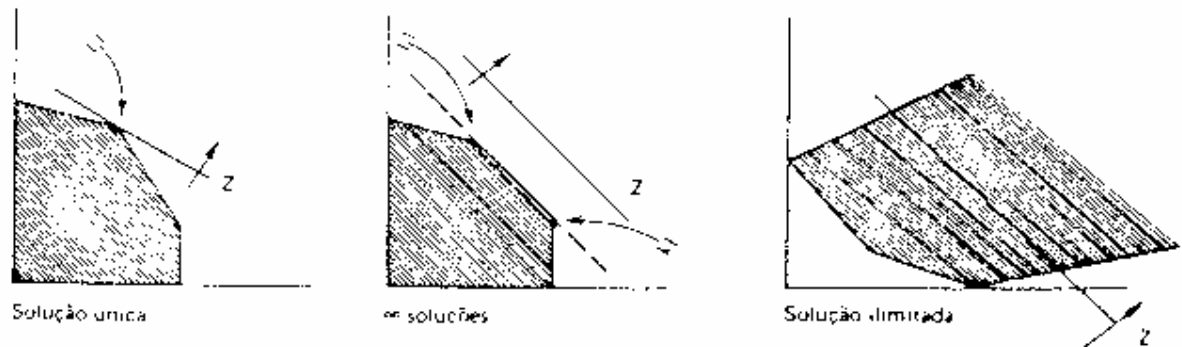
4. MÉTODO GRÁFICO

É o método restrito a resolução de problemas com 2 variáveis, neste método temos cada restrição definindo uma área no plano cartesiano, que contem infinitos pontos. O problema deve ser então selecionar um ponto que ao mesmo tempo esteja contido nesta área e satisfaça a função-objetivo. O método garante que os pontos de intersecção das retas limites a área de interesse são os possíveis pontos que satisfazem a função-objetivo.

ROTEIRO BÁSICO PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS PELO MÉTODO GRÁFICO

- 1) Identificar as variáveis de decisão.
 - 2) Montar a função-objetivo.
 - 3) Montar as equações de restrição.
 - 4) Determinar no mínimo 2 pontos para cada reta de restrição.
 - 5) Plotar os pontos e traçar as retas no plano cartesiano.
 - 6) Selecionar (marcar) a área viável.
- Obs, se a restrição for:
- = , sobre a reta
 - >= , acima da reta e a direita
 - <= , abaixo e a esquerda da reta
- 7) Verificar a área comum entre todas as restrições.
 - 8) Achar o ponto ótimo do problema.
 - 9) Formular a resposta.

Obs.: Ao aplicarmos o método gráfico em algumas situações podemos chegar a situações com soluções ilimitadas como também não achamos soluções para nosso problema. É o caso dos modelos de gráficos abaixo. O gráfico que não posse área comum entre as retas é considerado sem solução.



Tipos de soluções gráficas

4.1. EXEMPLO DE UM PROBLEMA DE PL COM RESOLUÇÃO GRÁFICA

Um fabricante deseja maximizar a receita bruta. A tabela abaixo mostra as composições das ligas, seus preços e as limitações na disponibilidade de matéria-prima. Resolva graficamente.

	Liga tipo A	Liga tipo B	Matéria-prima
Cobre	2	1	16
Zinco	1	2	11
Chumbo	1	3	15
Preço Unit. De venda	30	50	

Resposta:

Variáveis de decisão: X_a - qtde. de liga A a ser produzida.

X_b - qtde. de liga B a ser produzida.

O objetivo é maximizar o valor das vendas totais Z .

Portanto, o objetivo é:

$$\text{Max } Z = 30X_a + 50X_b$$

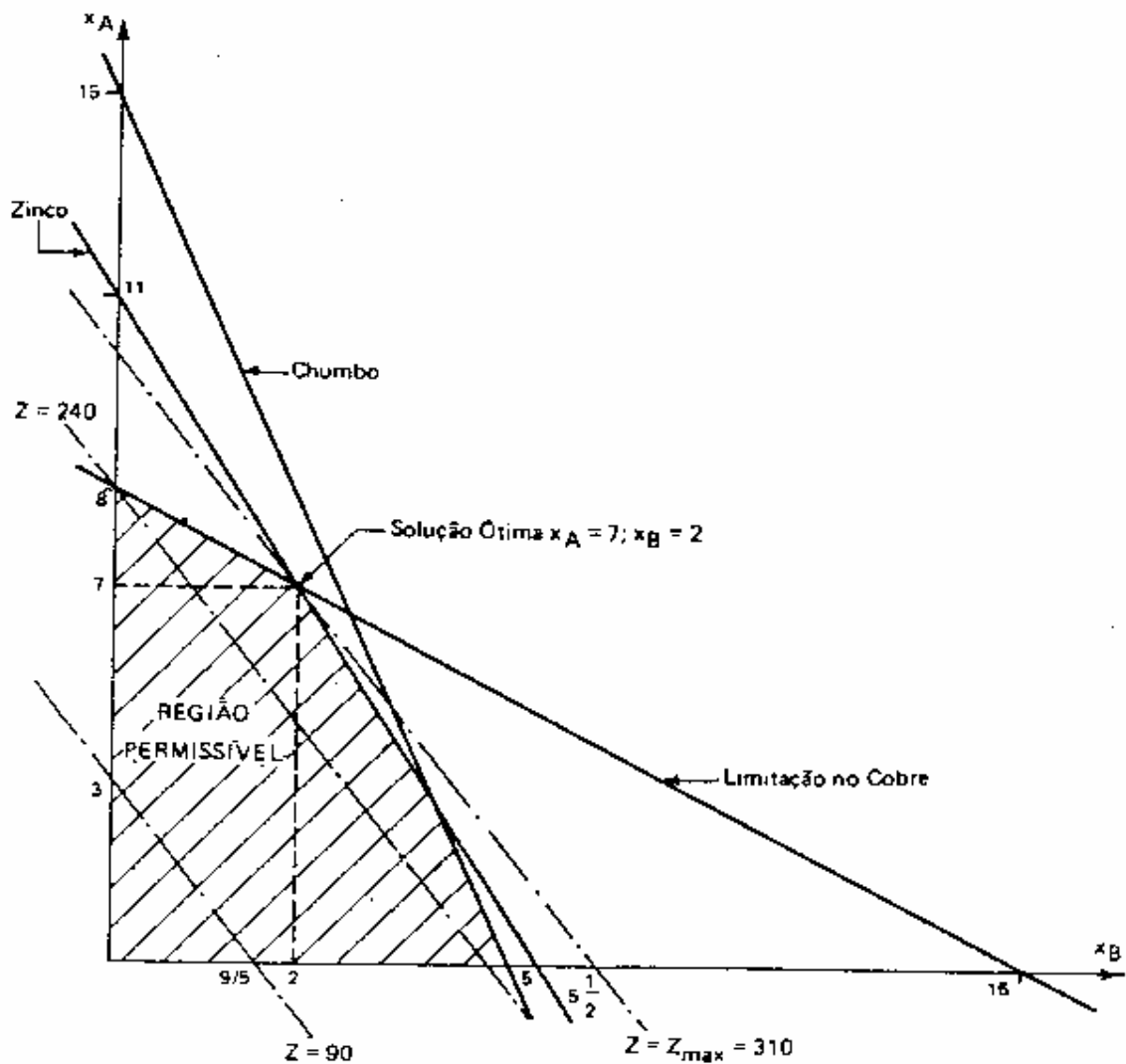
Restrições:

$$2X_a + X_b \leq 16 \text{ \{restrição de cobre\}}$$

$$X_a + 2X_b \leq 11 \text{ \{restrição de zinco\}}$$

$$X_a + 3X_b \leq 15 \text{ \{restrição de chumbo\}}$$

Onde: X_a e $X_b \geq 0$ {não podemos fabricar quantidade negativa de liga}



4.2. EXERCÍCIOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR USANDO O MÉTODO GRÁFICO

1) Resolver Graficamente.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 2x_1 + x_2 \\ \text{sujeito a} \\ x_1 + 4x_2 &\leq 24 \\ x_1 - 2x_2 &\leq 14 \\ 2x_1 - x_2 &\leq 8 \\ x_1 - x_2 &\leq 3 \\ x_1 &\geq 0, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

2) Resolver Graficamente.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 2x_1 + x_2 \\ \text{sujeito a} \\ x_1 + 4x_2 &\leq 24 \\ x_1 - 2x_2 &\leq 14 \\ 2x_1 - x_2 &\leq 8 \\ x_1 - x_2 &\leq 3 \\ x_1 &\geq 0, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

- 3) Um fazendeiro tem que decidir o quanto vai plantar de milho e de alfafa. Os lucros são de \$ 20.000,00 por alqueire de milho e de S 10.000,00 por alqueire de alfafa. Suponha que suas limitações sejam: terra disponível = 8 alqueires; água disponível para irrigação = 80000 litros; deseja plantar no máximo 4 alqueires de milho; cada alqueire de milho requererá 10000 litros de água para irrigação; cada alqueire de alfafa requererá 20000 litros de água para irrigação.

- Formule o problema como de programação linear;
 - Resolva-o graficamente.
- 4) Resolva graficamente, mostrando claramente a região dos pontos viáveis (região permissível) e a reta da função objetivo.

$$\text{Max } Z = -10x + 15y$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito a} \\ x &\geq 2 \quad x + y \leq 12 \\ x &\leq 8 \quad 2x + 5y \leq 40 \\ y &\geq 1 \end{aligned}$$

- 5) Resolver Graficamente.

$$\begin{aligned} \text{min } Z &= -x_1 + 2x_2 \\ \text{sujeito a} \\ -x_1 + x_2 &\leq 1 \\ 6x_1 + 4x_2 &\leq 24 \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 2 \end{aligned}$$

- 6) Resolver Graficamente.

$$\begin{aligned} \text{min } Z &= 2x_1 + x_2 \\ \text{sujeito a} \\ 4x_1 - 5x_2 &\leq 40 \\ 5x_1 + 8x_2 &\leq 40 \\ 9x_1 - 6x_2 &\geq 0 \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 2 \end{aligned}$$

5. PROGRAMAÇÃO LINEAR NO EXCEL

No real mundo, nós somos confrontados freqüentemente com vários modos de realizar um certo objetivo, alguns modos que são melhor em uma certa ocasião que outros. Por exemplo, há muitas combinações de produtos que uma máquina pode fabricar, e nós podemos estar interessados achar a combinação que conduz a lucro de máximo. As variáveis em situações da vida real estão sujeitas a restrições. No primeiro lugar, é necessário na maioria das instâncias que as variáveis não assumam valores negativos. Certas combinações de variáveis não são permissíveis. Por exemplo, uma mistura de produto que exige para uma máquina operar mais de 24 horas não é permissível, nem é isto permissível programar produção a níveis que excedem capacidade da máquina. Os problemas às vezes podem ser tão complicados podendo ter mais de 10 restrições e mais de 6 variáveis.

O Excel tem uma característica de otimização poderosa chamado Solver o qual calcula solução baseado em células ajustáveis, restrições e otimizações que devem ser calculadas. Com esta ferramenta podemos resolver sistemas grandes que envolvem até 200 variáveis e 500 restrições em segundos, montando uma planilha eletrônica.

5.1. EXEMPLO COM O EXCEL

Nós temos que usar um exemplo para demonstrar o poder do Solver.

Temos uma fábrica que faz copos para beber e que usa uma única máquina. A máquina está disponível durante 60 hr/semana. Toda a produção semanal é armazenada em um armazém e ao término de cada semana ela é transportada para as vendas.

Você produz dois produtos, copos de suco e copos de vinho, a máquina leva 6 horas para produzir 100 caixas com copos de suco, e 5 horas para produzir 100 caixas com copos de vinho. Cada caixa com copos de suco ocupa 10 metros cúbicos ao ser armazenada e cada caixa com copos de vinho ocupam 20 metros cúbicos. Sabemos que o armazém suporta no máximo 15.000 metros cúbicos.

O lucro líquido por cada caixa com copos de suco é de \$5.00 e \$4.50 por caixa com copos de vinho. O departamento de marketing estima que a empresa pode vender todas as caixas com copos de vinho que forem produzidas, mas poderá vender um máximo de 800 caixas com copos de suco por semana. Você tem que determinar um plano de produção que respeita todas as restrições e que maximize o lucro líquido total.

Formulação algébrica:

Cosiderando que:

J = número de caixas com copos de suco produzidas por semana

W = número de caixas com copos de vinho por semana.

Nós queremos maximizar lucro total, em \$: $5J + 4.5*W$ {função objetivo}

sujeito a {restrições}:

Tempo de máquina, em horas: $(6/100)*J + (5/100)*W \leq 60$

Espaço do armazém, em metros cúbicos: $10*J + 20*W \leq 15.000$

Demanda de copos de suco, em caixas: $J \leq 800$

$J, W \geq 0$

5.2. CONFIGURANDO O EXCEL

Nós precisamos modelar o problema e por em uma planilha eletrônica primeiro. O diagrama mostrado abaixo é um dos muitos modos de se modelar o problema. Será interessante montar um espaço na tabela excel para especificar as restrições, o que irá permitir mudanças futuras de valores. Também será interessante dar nomes as células para que o resultado produzido pelo Solver tenha um significado mais representativo.

Passos para a montagem do Modelo de Programação Linear no Excel considerando o problema anterior:

a) Montar uma Planilha com as informações do Problema, como na tabela abaixo:

Tipo de Copo	Horas trabalhadas para cada caixa com copos	Espaço ocupado por cada caixa com copos	Preço por caixa	Número de caixas produzidas	Total de lucro das caixas	Espaço Total	Total de horas trabalhadas
Suco	0,06	10	5	200	1000	2000	12
Vinho	0,05	20	4,5	200	900	4000	10
Total:					1900	6000	22

Restrições

Espaço total: 15000

Número máximo de copos de suco: 800

Total de Horas: 60

b) Atribuir um valor aleatório para o número de caixas produzidas de suco e vinho, no caso iremos atribuir 200 para ambos.

c) Criar as fórmulas para os campos calculados:

F2 {=D2*E2}

F3 {=D3*E3}

F4 {=SOMA(F2:F3)}

G2 {=C2*E2}

G3 {=C3*E3}

G4 {=SOMA(G2:G3)}

H2 {=B2*E2}

H3 {=B3*E3}

H4 {=SOMA(G2:G3)}

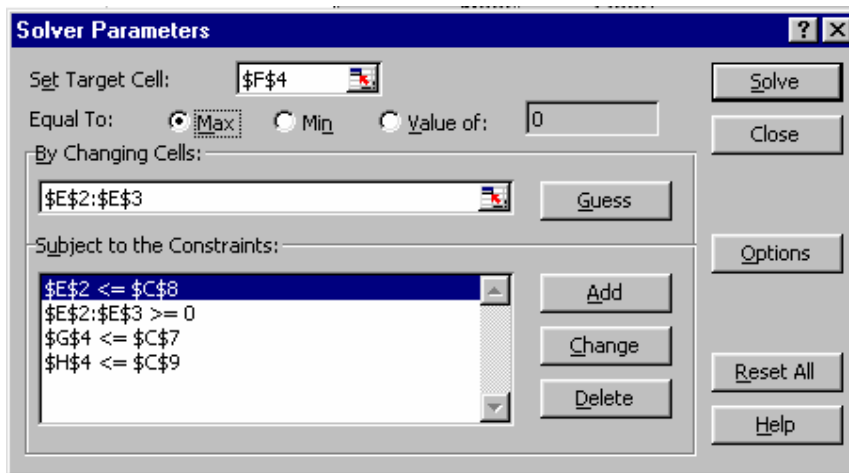
d) Atribuir nomes as células e intervalos principais para facilitar o entendimento nos próximos passos:

F4 - lucro_total

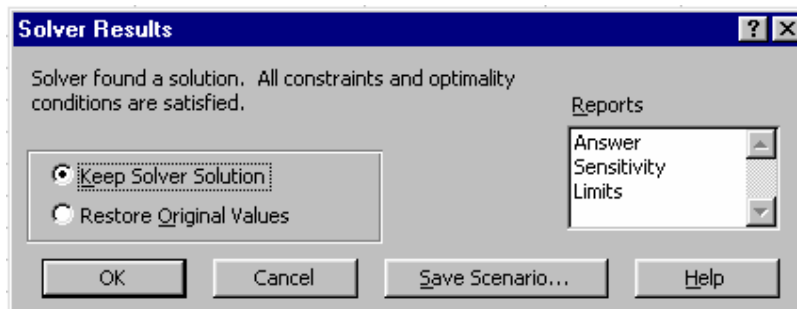
E2:E3 - caixas_produzidas
C8 - max_copos_sucos
E2 - caixas_suco
C7 - espaco_total
G4 - espaco_total_utilizado
H4 - total_horas_trabalhadas
C9 - total_horas

- e) Utilizar a opção Solver no Excel, menu ferramentas.
Em *Célula Configuração*{Set Target Cell}: clicar na planilha na célula F4 pois é ela que queremos maximizar;
Célula modificadas: clicar na planilha e selecionar o intervalo \$E\$2:\$E\$3;
Adicionar as restrições do problema:
\$E\$2 <= \$C\$8
\$E\$2:\$E\$3 >= 0
\$G\$4 <= \$C\$7
\$H\$4 <= \$C\$9

A tela dos Parametros do solver deverão ficar como a figura abaixo.
Se as informações estiverem corretas basta então clicar sobre o botão Solver.



Após clicar no botão solver a seguinte tela irá aparecer:



Aqui nós podemos configurar o tipo de relatório selecionando as opções em *Reports*, bem como salvar o cenário criado para eventuais conferências de resultados e também retornar com os valores originais clicando sobre a opção *Restore Original Values*. E calcular nossa solução mantendo a opção *Keep Solver Solution* selecionado.

Selecione então *Keep Solver Solution* e como relatórios escolha os 3 tipos: *Answer*, *Sensitivity*, *Limits*.

Após o OK o resultado deverá aparecer como a tabela abaixo:

Tipo de Copo	Horas trabalhadas para cada caixa com copos	Espaço ocupado por cada caixa com copos	Preço por caixa	Número de caixas	Total de lucro das caixas	Espaço Total	Total de horas trabalhadas
Suco	0,06	10	5	642,8571429	3214,285714	6428,571429	38,57142857
Vinho	0,05	20	4,5	428,5714286	1928,571429	8571,428571	21,42857143
Total:					5142,857143	15000	60

Restrições
 Espaço total: 15000
 Número máximo de copos de suco: 800
 Total de Horas: 60

5.3. ENTENDENDO OS RESULTADOS OBTIDOS

O Solver pode resumir seus resultados de 3 modos diferentes que lhe proporcionam visões diferentes de análise. Os resultados podem ser apresentados em Relatório de Resposta, Relatório de Sensibilidade, ou Relatório de Limites.

O Relatório de Resposta mostra a célula objetivo, as variáveis, e as restrições. Também inclui valor de sobras para cada restrição.

Target Cell (Max)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$F\$4	Total: Total de lucro das caixas	1900	5142,857143

Adjustable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$E\$2	Suco Número de caixas	200	642,8571429
\$E\$3	Vinho Número de caixas	200	428,5714286

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$H\$4	Total: Total de horas trabalhadas	60	\$H\$4<=\$C\$9	Binding	0
\$G\$4	Total: Espaço Total	15000	\$G\$4<=\$C\$7	Binding	0
\$E\$2	Suco Número de caixas	642,8571429	\$E\$2<=\$C\$8	Not Binding	157,1428571
\$E\$2	Suco Número de caixas	642,8571429	\$E\$2>=0	Not Binding	642,8571429
\$E\$3	Vinho Número de caixas	428,5714286	\$E\$3>=0	Not Binding	428,5714286

O Relatório de Limites mostra quanto podem ser aumentados os valores das variáveis ou podem ser diminuídos sem violar as restrições de seu problema.

Cell	Target Name	Value
\$F\$4	Total: Total de lucro das caixas	5142,857143

Cell	Adjustable Name	Value	Lower Limit	Target Result	Upper Limit	Target Result
\$E\$2	Suco Número de caixas	642,8571429	0	1928,571429	642,8571429	5142,857143
\$E\$3	Vinho Número de caixas	428,5714286	0	3214,285714	428,5714286	5142,857143

O Relatório de Sensibilidade mostra a informação de sensibilidade sobre a célula objetivo. Será mostrada a informação detalhada deste relatório em classes.

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Gradient
\$E\$2	Suco Número de caixas	642,8571429	0
\$E\$3	Vinho Número de caixas	428,5714286	0

Constraints

Cell	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
\$H\$4	Total: Total de horas trabalhadas	60	78,57143242
\$G\$4	Total: Espaço Total	15000	0,028571416

6. MÉTODO SIMPLEX

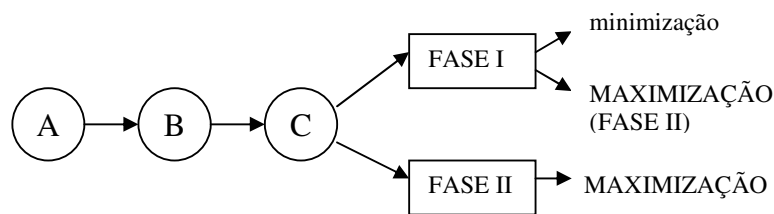
É um cálculo numérico que pesquisa os vértices do poliedro de restrições. Através de iterações temos:

- A solução Ótima.
- A indicação da inexistência de solução.

Baseia-se no fato de que o máximo ou o mínimo da função objetivo ocorre num vértice do poliedro convexo de restrições.

Roteiro básico para aplicação do Método Simplex:

Esquema:



- (A) Montar a função Objetivo.
- (B) Montar as inequações de Restrições
- (C) Transformar as inequações de Restrição em equações observando o seguinte:
Sinal $\leq$: acrescentar uma variável de *folga* X_i .
Sinal $\geq$: acrescentar uma variável de *folga* X_i negativa e uma *artificial* Y_i .
Sinal $=$: acrescentar uma variável de *artificial* Y_i .

FASE I : é usada quando existirem variáveis artificiais.

- 1) Criar a equação W que é o valor negativo da soma das restrições que contiverem variáveis artificiais.
- 2) Montar o quadro (tablo) para a fase 1 e preenche-lo:
 - Na linha superior colocar todas as variáveis e criar uma coluna b contendo os valores a direita das restrições.
 - Colocar todas as restrições.
 - Criar a linha Z, onde para cada variável artificial, folga e coluna b os valores deverão ser zero.
 - Criar a linha W, que deverá conter os valores negativos da soma das restrições que possuírem variável artificiais. Obs.: nas colunas de variáveis artificiais o valor de W será igual a zero.
- 3) Fazer do 2º ao 6º passo da FASE II (onde lê-se linha Z leia-se linha W).
- 4) Verificar se $b = 0$ na linha W. Se não for voltar ao 3º passo.

Se o valor de b for igual a zero então montar um novo quadro, excluindo as variáveis artificiais e a linha W, caindo na FASE II:

Obs.:

Para minimização: passo 8,

Para Maximização: passo 7.

Se b não zerar e não houverem valores positivos na linha W, então não há solução possível.

FASE II:

1) Montar o quadro para a fase II e preenche-lo:

- Na linha superior colocar todas as variáveis e criar uma coluna b contendo os valores a direita das restrições.

2) Escolher o valor mais negativo da linha Z. A coluna que o contiver será chamada *coluna Pivô*.

3) Dividir os valores de b pelos correspondentes na coluna pivô (apenas para as restrições). Tomar o menor resultado positivo e maior que zero encontrado. A linha que o contiver será chamada *linha Pivô*. A intersecção da coluna pivô com a linha pivô indica o *elemento Pivô*.

4) Montar um novo quadro já figurando a variável que entrou na base no lugar do que saiu.

5) Calcular os valores da linha que entrou na base (LB).

Fórmula:

$$LB = \frac{\text{linha pivô}}{\text{elemento pivô}}.$$

6) Calcular as demais linhas, sempre respeitando a coluna correspondente:

Novo valor = valor da linha que entrou na base (LB) * valor negativo antigo da coluna pivô + valor antigo da linha.

7) Verificar se há algum valor negativo na linha Z. Se houver reiniciar o passo 2 senão passar para o passo 8.

8) Esta é a solução Ótima. Lembrar que $\min Z = \max -Z$, então se for minimização devemos inverter o sinal de Z, caso contrário Z fica como está.

6.1. EXERCÍCIOS SOBRE O MÉTODO SIMPLEX

1) Resolva pelo método Simplex o problema:

$$\text{Max } Z = x_1 - 3x_2 + 2x_3$$

sujeito a

$$x_1 - 2x_2 - x_3 \leq 5$$

$$x_1 - x_2 \geq 2$$

$$x_2 + 2x_3 \leq 4$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

2) Resolva pelo método Simplex o problema:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= 3x_1 + 2x_2 + x_3 \\ \text{sujeito a} \\ x_1 + 2x_3 &\geq 10 \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 &\geq 17 \\ x_1, x_2, x_3 &\geq 0 \end{aligned}$$

3) Resolva pelo método Simplex o problema:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 2x_1 + 5x_2 + 7x_3 \\ \text{sujeito a} \\ x_1 + 3x_2 + 6x_3 &\leq 12 \\ 2x_1 + 3x_2 &\leq 9 \\ x_3 &\leq 2 \\ x_1, x_2, x_3 &\geq 0 \end{aligned}$$

4) Resolva pelo método Simplex o problema:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= 2x_1 + x_2 + 3x_3 \\ \text{sujeito a} \\ 2x_1 + 3x_2 + x_3 &\leq 2 \\ 3x_1 - 4x_2 - 5x_3 &\leq -2 \\ x_1, x_2, x_3 &\geq 0 \end{aligned}$$

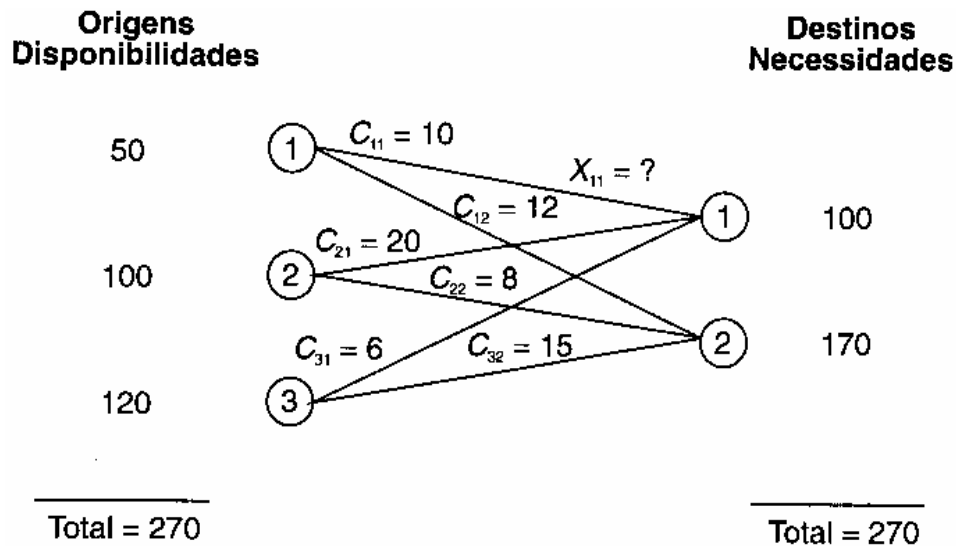
5) Resolva pelo método Simplex e graficamente o problema:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 2x_1 + x_2 \\ \text{sujeito a} \\ x_1 + 2x_2 &\geq 4 \\ 4x_1 + 3x_2 &\leq 4 \\ 4x_1 + 9x_2 &\geq 36 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

7. PROBLEMA DO TRANSPORTE

Temos que transportar produtos das várias origens onde estão estocados para vários destinos onde são necessários. Conhecemos os custos unitários de transporte de cada origem para cada destino (C_{ij} - custo unitário de transporte da origem i para o destino j). Devemos decidir quanto transportar de cada origem para cada destino (X_{ij} - quantidade a ser transportada da origem i para o destino j).

O objetivo é completar a transferência dos produtos com o menor custo possível. Em princípio, vamos supor que a quantidade disponível nas origens seja exatamente igual ao total das necessidades nos destinos.



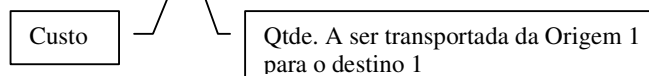
Esta situação podemos representar pelo quadro abaixo:

Destinos j	D_1	D_2	Disponibilidades
Origens i			
O_1	10	12	50
O_2	20	8	100
O_3	6	15	120
Necessidades	100	170	270

7.1. O MODELO LINEAR DO TRANSPORTE

X_{ij} - variável de decisão

Função Objetivo: $\min C = 10x_{11} + 12x_{12} + 20x_{21} + 8x_{22} + 6x_{31} + 15x_{32}$



Restrições de Origens:

$$\begin{aligned}x_{11} + x_{12} &= 50 \\x_{21} + x_{22} &= 100 \\x_{31} + x_{32} &= 120\end{aligned}$$

Restrições de Destinos:

$$\begin{aligned}x_{11} + x_{21} + x_{31} &= 100 \\x_{12} + x_{22} + x_{32} &= 170\end{aligned}$$

Obr.: sistemas não equilibrados acontece quando a necessidade a ser transportada é diferente da necessidade do destino, o que é muito comum acontecer, neste caso cria-se uma linha fantasma representando a quantidade excedente ou faltante.

	D_1	D_2	D_3	
O_1	10	12	9	20
O_2	4	9	8	30
O_3	6	12	10	10
	25	36	5	66

Sistema não equilibrado

	D_1	D_2	D_3	
O_1	10	12	9	20
O_2	4	9	8	30
O_3	6	12	10	10
A	0	0	0	6
	25	36	5	66

Sistema anterior agora equilibrado

7.2. SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DO TRANSPORTE

A solução do problema do transporte, como todo problema representado por um modelo de programação linear, pode ser obtida pelo método Simplex. Entretanto, devido a suas características especiais, podemos descrever um método que, embora mantenha as regras e critérios do Simplex, tem os cálculos simplificados.

Uma solução básica para o problema é um conjunto de valores a transportar que obedecem a duas condições:

- Satisfazem as restrições de origem e destino;
- não apresentam circuitos entre as variáveis básicas. Por circuitos devemos entender *uma* poligonal fechada construída no sentido das linhas ou colunas, ligando variáveis básicas.

7.3. PRIMEIRA PARTE DA SOLUÇÃO DE TRANSPORTE

7.3.1. MÉTODO DO CANTO NOROESTE

A partir da célula superior esquerda transportamos o máximo possível da origem ao destino correspondente. Esse procedimento zera a disponibilidade da linha ou da coluna da célula. O próximo transporte será feito na célula contígua (à direita ou abaixo) que tenha disponibilidade de linha e coluna correspondente.

O método do canto noroeste garante a não-formação de circuitos entre as variáveis básicas, além de satisfazer as condições de contorno (restrições de origem e destino).

7.3.2. MÉTODO DE VOGEL OU MÉTODO DAS PENALIDADES

Penalidade em uma linha ou coluna é a diferença positiva entre os dois custos de menor valor na linha ou coluna.

A idéia desse método é fazer o transporte com prioridade na linha ou coluna que apresenta a maior penalidade. Como o transporte é feito na célula de menor custo, tenta-se evitar com isso o transporte na célula de custo maior, evitando-se assim incorrer num aumento de custo igual à penalidade calculada.

Descrição do método:

- calcular a penalidade para cada linha ou coluna. Escolher a linha ou coluna para transporte, que tenha a maior penalidade. Caso haja empate, escolha arbitrariamente uma delas;
- transportar o máximo possível na linha ou coluna escolhida, elegendo a célula de menor custo unitário de transporte. Esse procedimento *zera a oferta ou demanda* da célula correspondente. A linha ou coluna que tenha sua disponibilidade zerada deve ser eliminada;
- retornar ao item a, até que todos os transportes tenham sido realizados.

7.4. SEGUNDA PARTE DA SOLUÇÃO DE TRANSPORTE

Obtida uma solução inicial para o quadro de transportes, o passo seguinte é verificar se essa solução pode ou não ser melhorada. Como no método Simplex, isso pode ser avaliado observando-se os coeficientes das variáveis não básicas na função objetivo, que deverá estar escrita em termos dessas variáveis.

Descrição:

- Escrever a função objetivo em termos das variáveis não básicas. Para tanto, deve-se multiplicar cada restrição de linha pelo número $-U_i$ e cada restrição de coluna pelo número $-V_j$, e somar as novas linhas e colunas na função objetivo de tal maneira que os coeficientes das variáveis básicas sejam todos nulos.

Teremos, então:

$$\text{Se } X_{ij} \text{ é básico } C_{ij} - U_i - V_j = 0$$

Essas igualdades compõem um sistema de $m + n - 1$ equações com $m + n$ incógnitas. A solução do sistema pode ser obtida atribuindo-se um valor arbitrário a uma das incógnitas e calculando-se o valor das outras.

Com esses valores, calculamos os coeficientes das variáveis não básicas:
Solução Essas igualdades compõem um sistema de $m + 1$ equações

$$X_{ij} \text{ não básico - coeficiente} = C_{ij} - U_i - V_j$$

Se todos esses valores forem positivos, a solução é ótima. Se houver coeficiente negativo, a variável correspondente entra na base para melhorar o valor do objetivo.

- b) entrar com a variável cujo coeficiente negativo tenha o maior valor absoluto;
- c) montar um circuito de compensação entre as variáveis básicas, a partir da variável que entra. Esse circuito é feito partindo-se da variável que entra e seguindo-se alternativamente na direção da linha e da coluna, subtraindo e somando o valor da entrada até o retorno à variável de entrada. Com isso as restrições de linha e coluna ficam satisfeitas.
- d) escolher para a variável que entra o maior valor possível, sem tornar nenhuma variável básica negativa. Esse valor corresponde ao menor valor das células onde a variável que entra estiver sendo subtraída. Teremos, então, uma nova solução básica.
- e) voltar ao item a, até que a solução seja ótima, isto é, não apresente não no coeficiente negativo nas variáveis não básicas.

7.5. O PROBLEMA DA DEGENERESCÊNCIA

Pode ocorrer, entretanto, que haja menos variáveis básicas do que o necessário na solução, o que resulta menos equações do que as desejadas (as três ou mais equações a menos que o número de variáveis).

Dizemos nesse caso que a solução é degenerada. Ao calcular os valores de U e V do sistema para o critério de otimalidade, não conseguimos um conjunto único de valores para U e V .

A solução para o caso é criar variáveis básicas auxiliares, quantas forem necessárias para que o número de equações seja apenas um a menos o número de variáveis. Essas variáveis básicas auxiliares devem ter um valor tão próximo de zero que não alteram as condições de contorno do problema.

O cuidado que devemos tomar ao acrescentar variáveis básicas auxiliares é que elas não formem circuitos com as variáveis básicas originais.

7.6. IMPOSSIBILIDADE DE TRANSPORTE

Pode ocorrer que determinado transporte de uma origem para um destino não possa ser realizado. Neste caso, colocamos como custo de transporte, naquela célula da tabela de custos, um símbolo M , que representa um número muito grande. Desta forma:

Ao construir a solução básica inicial, evitamos esta célula, onde não é possível o transporte.

Como o número M é muito grande, ao calcular os coeficientes das variáveis não básicas o coeficiente desta célula nunca será negativo, o que impede o aparecimento, na célula, de uma variável básica trazendo como consequência a ausência daquele transporte.

7.7. EXERCÍCIOS SOBRE PROBLEMAS DE TRANSPORTES

- 1) No quadro de transporte a seguir, a quarta linha mostra as necessidades no destinos e a quarta coluna as disponibilidades nas origens. Os outros dados representam custos unitários de transporte das origens para os respectivos destinos.

10	15	20	40
12	25	18	100
16	14	24	10
50	40	60	

Determinar o plano de transporte que minimiza o custo total das transferências. Use o método do canto noroeste para a solução inicial.

- 2) Resolva o problema anterior, usando o método de Vogel para o cálculo da solução inicial.

- 3) No quadro de transporte a seguir, a quarta linha mostra as necessidades no destinos e a quarta coluna as disponibilidades nas origens. Os outros dados representam custos unitários de transporte das origens para os respectivos destinos.

10	15	20	100
12	25	18	80
16	14	24	20
100	50	60	

Determinar o plano de transporte que minimiza o custo total das transferências. Use o método do canto noroeste para a solução inicial.

- 4) Uma companhia tem três instalações industriais que podem produzir, cada uma delas, três diferentes produtos P1, P2 e P3. Os custos em cada instalação variam de acordo com a tabela:

Instalações	Custos Unitários			Capacidade em unidade/semana
	P1	P2	P3	
1	8	4	10	800
2	9	6	10	1000
3	12	10	11	1200
Demanda dos produtos unidades/semana	1000	900	800	

Se o preço de venda de cada produto é de 20, 25 e 30 respectivamente, qual o plano de produção que maximiza o lucro?

- 5) Um comerciante compra ovos em três granjas para revendê-los em três cidades distintas. Ele monta contratos de fornecimento com os granjeiros e compromete essa mercadoria

em contratos de fornecimento com supermercados das cidades, de modo que a produção alocada nas granjas tem destino certo nas cidades. As quantidades contratadas nas granjas (em cartelas de 30 ovos) e nas cidades e os custos e retornos dessa operação estão nas tabelas:

	Produção Contratada	Preço de Compra
G1	170	400
G2	150	380
G3	200	360

	Demanda Contratada	Preço de Venda
C1	200	500
C2	200	520
C3	120	510

Os custos de distribuição das granjas para as cidades por cartela de ovos estão na tabela:

	C1	C2	C3
G1	10	18	16
G2	12	20	14
G3	15	12	15

- Estabelecer um plano de distribuição com o menor custo possível;
- Estabelecer um plano de distribuição com o maior lucro possível;
- Estabelecer um plano de distribuição com a maior receita possível.

8. PROBLEMAS DA DESIGNAÇÃO

A designação é um caso particular do modelo de transportes. É aquele em que cada origem tem uma unidade disponível e cada destino necessita também de uma unidade. É o caso de escalar vendedores para regiões de vendas, máquinas para diversos locais etc...

Roteiro para resolução de Problemas de Designação.

- 1) O número de linhas dever ser igual ao de colunas. Se não for acrescentar linhas ou colunas fantasmas, ou seja, seus valores deverão ser igual a Zero.
- 2) Subtrair o menor elemento de cada linha pelos restantes da mesma linha.
- 3) Do quadro resultante subtrair o menor elemento de cada coluna pelos outros elementos desta mesma coluna.
- 4) Fazer o teste de otimidade.
 - a) Traçar um número mínimo de retas que cubra todos os zeros do quadro.
 - b) As retas devem ser horizontais ou verticais
 - c) Se o número de retas traçadas for menor que o número de linhas ou colunas então ir para o item 5, caso contrário se o número de retas for igual ao número de linhas ou colunas então é a Solução Ótima ir para item 6.
- 5) Tomar o menor elemento não coberto pelas retas traçadas e subtrai-los dos demais elementos não cobertos pelas retas. Somar esse elemento aos que se encontram na intersecção das retas. Todos os demais permanecem inalterados. Voltar ao item 4.
- 6) Para encontrar a designação ótima substituir os zeros pelos valores dispostos no primeiro quadro. Informar o custo ou lucro total.

O caso da Maximização

Caso a tabela de transferência traga retornos que devem ser maximizados, o modelo deverá ser substituído por outro de minimização. Isso pode ser feito transformando o quadro num quadro de perdas (complemento em relação a um valor fixo), ou seja, devemos pegar o maior elemento do primeiro quadro e subtrair de todos os elementos criando um quadro de perdas.

8.1. EXERCÍCIOS SOBRE DESIGNAÇÃO

- 6) Resolva o problema de designação:

	1	2	3	4	
					Destinos
1	10	23	8	9	
2	4	5	6	7	
3	12	10	10	8	
4	6	4	9	7	
					Origens

- 7) Resolva o problema de designação:

	1	2	3	4	
					Destinos
1	6	8	10	9	
2	4	3	6	5	
3	7	9	12	6	
					Origens

- 8) Resolva o problema de designação, onde o símbolo X indica a impossibilidade da designação da origem para o destino correspondente:

	1	2	3	Destinos
1	6	X	8	
2	4	9	3	
3	5	6	4	
4	8	10	12	
Origens				

- 9) Quatro locais L1, L2, L3 e L4 necessitam de um equipamento. Existem quatro equipamentos disponíveis, um em cada um dos depósitos D1, D2, D3 e D4. A quilometragem entre os locais necessitados e os depósitos estão no quadro:

	Local			
Depósitos	L1	L2	L3	L4
D1	100	120	130	140
D2	80	70	120	90
D3	100	80	100	110
D4	90	90	120	80

Determine um programa de expedição de quilometragem mínima.

- 10) Resolva o problema anterior, supondo que não seja possível expedir do armazém 1 p/ o local 3.

- 11) Uma fábrica possui quatro locais L1, L2, L3 e L4 para receber três novos equipamentos (E1, E2 e E3). A operação desses equipamentos gera um fluxo de materiais cujo custo de manuseio depende do local da instalação, e estão no quadro a seguir:

	L1	L2	L3	L4	Destinos
E1	10	4	8	6	
E2	6	4	9	10	
E3	5	7	8	9	
Origens					

- 12) Uma empresa deseja operar diretamente em quatro regiões. Para isso, contratou e treinou quatro vendedores. A empresa tem conhecimento dos mercados dessas regiões através de representantes. A partir dessas informações, o departamento de R.H. montou um quadro de eficiência para os vendedores baseado no perfil profissional de cada um deles. O resultado e outras informações relevantes estão nos quadros abaixo. Baseados nestas estimativas, designar os vendedores para as regiões de modo a maximizar o retorno mensal total de vendas:

Potencial de vendas mensais
em milhares de u.m. :

Região	Vendas
1	100
2	150
3	120
4	250

Capacidade para cada vendedor em cada região em %:

Região	Vendedor			
	1	2	3	4
1	60	80	70	65
2	70	60	80	60
3	80	40	60	70
4	60	90	95	85

9. PERT/CPM

9.1. HISTÓRICO

O sistema PERT (Program Evaluation and Review Technique), que segundo a ABNT, foi o “termo inicialmente empregado para caracterizar o tempo probabilístico como atributo de cálculo”.

O sistema CPM (Critical Path Method), que segundo a ABNT, foi o “termo inicialmente empregado por caracterizar o tempo determinístico como atributo de cálculo”.

Não havendo vantagem prática em considerá-los como dois sistemas diferentes. Hoje em dia, tais sistemas se acham integrados sob a denominação PERT/CPM.

9.2. CONCEITO DE PERT/CPM

Consiste em figurar o projeto numa rede ou grafo, onde se apresentam as ações de acordo com as respectivas relações de correspondência, de modo que o conjunto mostre a sequência em que todas as atividades de empreendimento devam ser executadas.

Isto traz grandes vantagens para o planejamento, a programação, a coordenação e o controle do projeto.

Principais características do PERT/CPM

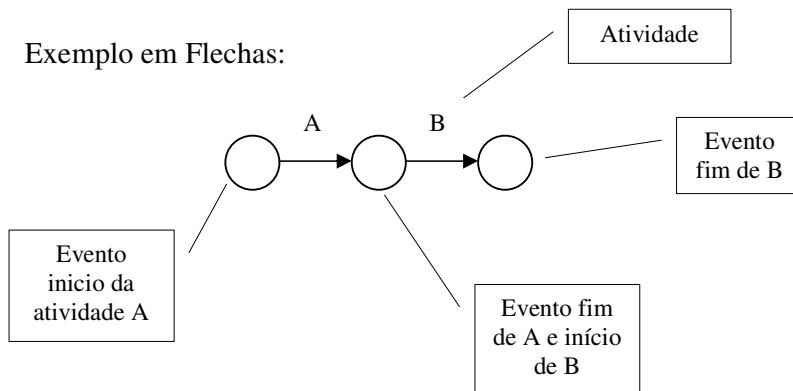
- 1) Abordagem de um projeto de um ponto de vista sistêmico, já que:
 - Fornece uma visão de totalidade do Projeto (devido a necessidade de relacionar todas as atividades envolvidas no Projeto)
 - Ressalta as entradas (diretrizes e recursos), o processo (execução das atividades) e as saídas (resultado final).
 - Conduz a montagem de um esquema de feedback, que abasteça e permita à administração decidir, em função dos dados e informações de diversos setores, sobre o andamento do projeto.
- 2) Dá ênfase aos objetivos.
- 3) Visa à otimização da chamada Regra dos 5P (política, performance, prazo, preço e perigo).
- 4) É uma ferramenta interdisciplinar e de comunicação (bastando analisar as próprias origens da técnica).
- 5) Estabelece claramente as relações entre clientes e fornecedores.

Ob.: O modelo PERT/CPM, tal como a Pesquisa Operacional, não cria situações, mas revela situações, evitando ou minimizando os efeitos advindos de uma ocorrência não prevista ou acidental ao longo do projeto. Portanto é uma ferramenta que ajuda a decidir, mas não é a decisão.

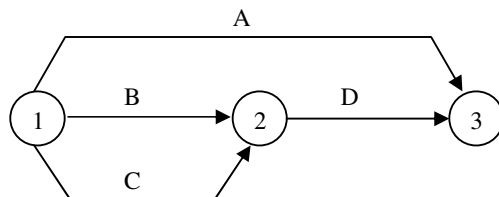
Conceitos Básicos

Nome	Conceito	Representação Gráfica	Exemplo
Projeto	Conjunto de ações e processos envolvendo recursos humanos, materiais financeiros, etc., organizados para a realização de um objetivo, concretamente definindo a partir de uma situação conhecida.	Rede, diagrama ou grafo	Lançamento de uma rede de abastecimento de águas.
Atividade	É a identificação de uma etapa de um projeto que consome tempo e recursos.	Em flechas ou setas: Nome ou código da atividade.	Serviço de escavação
Evento	Início ou término de uma ou mais atividade (obs.: portanto não consome recurso)	Oval	Início (ou término) do serviço de escavação
Atributo	É toda característica quantitativa específica de uma atividade, indicando qualquer dos recursos necessários à sua efetivação (exemplo: tempo, material, mão-de-obra)	Número	3 semanas para executar a escavação

Exemplo em Flechas:



Exemplo de Rede de Flechas:



A rede é composta das atividades: A, B, C e D.

①

: Evento início do projeto e evento início das atividades A, B e C

②

: Evento fim das atividades B e C, bem como evento início da atividade D.

③ : Evento fim das atividades A e D.

A rede de flechas, composta das atividades A, B, C e D, representa um projeto composto destas quatro atividades.

Observamos que as atividades A, B e C podem ser iniciadas ao mesmo tempo, enquanto que A e D amarram o fim do projeto, ou seja, o projeto conclui-se com o término das atividade A e D.

Calculo de Datas

Uma vez estimados os valores das durações das atividades, passamos ao cálculo das datas ao longo do Projeto.

- Data Mais Cedo(DMC): é a menor data em que o evento pode ocorrer, desde que as atividades anteriores se desenvolvam nas durações previstas.
- Data Mais Tarde(DMT): é a maior data em que o evento pode ocorrer, sem atrasar a conclusão do empreendimento. Usuário que decide.

Folga de Evento (FE): é a disponibilidade de tempo medida pela diferença entre as Data Mais Tarde e Mais Cedo de um evento.

$$FE = DMT - DMC$$

Evento Crítico(EC): é aquele que apresenta a menor folga de evento.

Atividade Crítica (AC): é a atividade compreendida entre eventos críticos e correspondendo à maior duração entre eles, limitada pelos valores de datas mais cedo de início e fim. É a atividade de menor folga em um projeto. (está sempre entre dois eventos críticos)

Caminho Crítico (CC): é todo caminho de maior duração em um projeto, compondo-se, embora não necessariamente, de um sequencia de atividade críticas.

Conclusões:

- a) Um projeto pode ter mais de um caminho crítico, podendo toda a rede, no caso limite, ser crítica.
- b) As folgas dos eventos das atividades fora do caminho crítico são sempre maiores do que as folgas dos eventos críticos.
- c) A folga dos eventos do caminho crítico é constante e igual à menor folga de evento da rede.
- d) Qualquer atraso em uma das atividades do caminho crítico (caso não haja folga nos eventos críticos) acarretará uma atraso no projeto.
- e) A data mais cedo do evento fim é a soma das durações das atividades do caminho crítico.

10. JOGO DE EMPRESAS

O jogo tem como objetivo treinar universitários, pessoas da área administrativa e de vendas e empresários na gestão de negócios. É um jogo simples e rápido, mas mesmo assim completo no que diz respeito aos vários aspectos que interferem na estratégia do dia-a-dia de uma organização.

O desempenho de cada jogador depende de suas decisões, das decisões tomadas por seus concorrentes e também de raciocínio rápido.

De qualquer forma, quanto melhor o grupo, mais alto será o nível e mais difícil será vencer. Não existe uma fórmula mágica para ganhar sempre.

O objetivo final do jogo não é somente proporcionar momentos de lazer aos participantes. É também o de mostrar como funciona na prática o mecanismo de uma empresa e treiná-los a conviver neste ambiente que, se por um lado é exato e lógico, por outro é subjetivo e estratégico, pois sempre surgirão fatores imprevisíveis que abalam qualquer tipo de planejamento.

Podem participar de 2 a 8 jogadores, cada um representando uma empresa. As empresas disputarão em um mercado comum a venda de seus produtos com o objetivo principal de obter o maior lucro. Mas além do lucro outros fatores contam na pontuação para definir o vencedor.

10.1. OBJETIVOS DOS JOGADORES

São (cinco) os objetivos dos jogadores:

1. Obter o maior volume de vendas em quantidade;
2. Maior lucro orçado;
3. Melhor administração do caixa, ou seja não deixá-lo negativo;
4. Maior lucro real;
5. Melhor retorno do lucro sobre o capital inicial.

10.2. CRITÉRIO DE PONTUAÇÃO

Para cada um dos 5 objetivos o jogo utiliza o seguinte critério para pontuação:

Colocação	Pontos a receber
1º	5
2º	3
3º	2
4º	1

10.3. DECISÕES ESTRATÉGICAS

O jogo é feito em uma sequência de jogadas que envolve decisão, estratégia e, em alguns lances, raciocínio rápido. Cada jogada é feita em uma tela e o tempo médio para sua realização é de alguns minutos. Ao todo são 10 jogadas. Após as 5 primeiras decisões de cada jogador é apresentado um Resultado Parcial. Todos os jogadores trabalham no mesmo microcomputador, revezando-se a cada 5 (cinco) jogadas. Em algumas delas é conveniente não deixar os adversários verem o que está sendo decidido.

Os valores apresentados no Jogo podem ser modificados para permitir uma variação nas estratégias adotadas.

10.4. SELEÇÃO DOS JOGADORES

São apresentadas a foto de oito economistas e administradores. Os jogadores escolhem aquele que será o seu representante no jogo. Devem ser escolhidos no mínimo 2 jogadores.

A partir deste momento, sempre que a referida foto estiver na tela, cabe a ele tomar a decisão. Após a escolha dos jogadores, inicia-se o jogo, e nesta tela, escolhe-se quem será o primeiro a tomar as decisões.

Após cada jogador ter feito *suas* jogadas, volta-se para a tela do capital, onde é escolhido o segundo jogador a decidir. E assim se processa até o último jogador. Após as cinco primeiras decisões é apresentado um resultado parcial. A seguir, dentro do mesmo esquema! toma-se mais cinco decisões que levam ao resultado final do jogo.

As 10 (dez) decisões a serem tomadas pelos jogadores são as seguintes:

10.5. VALOR DO CAPITAL

Nesta primeira decisão o jogador define o Capital Inicial que o acionista irá investir em sua empresa. O jogo fornece 16 (dezesesseis) opções de Capital Inicial, variando de 85.000,00 (oitenta e cinco mil) a 115.000,00 (cento e quinze mil).

O Capital servirá para pagar o imobilizado da empresa, que no jogo foi estipulado em 100.00000 (cem mil), mais o valor será necessário para financiar o estoque.

Como todos os desembolsos são feitos apenas após os recebimentos do capital e das receitas, o cálculo utilizado para decidir o Capital inicial para uma empresa é:

$$\text{CAPITAL} = \text{IMOBILIZADO} + \text{ESTOQUE FINAL} + \text{LUCRO}$$

Tanto o estoque final como o lucro não são totalmente conhecidos neste momento, e dependem da estratégia a ser adotada.

10.6. VALOR DA FOLHA DE PAGAMENTO

Nesta decisão o jogador decide o valor a ser investido na Folha. Como sabemos, quem tem boa remuneração presta um bom serviço. Por este motivo o valor a ser investido na Folha irá influenciar na qualidade de seu produto e conseqüentemente nas vendas, nas perdas e no custo da mercadoria vendida da empresa que você está administrando.

O jogo oferece 3 opções para investir na Folha. A primeira, é de 1.000,00 (um mil), a segunda de 2.000,00 (dois mil) e a última opção é de 3.00000 (três mil).

Investindo 1.000,00 você terá uma perda adicional de 3 (três) peças de seu produto, 2.000,00 você terá uma perda adicional de 1 (uma) peça e sua empresa terá um acréscimo de 10% (dez por cento) sobre as vendas. Decidindo por 3.000,00 você não perde nenhuma peça e tem um aumento de 20% (vinte por cento) nas vendas de seu produto. Peça perdida deixa de ser faturada.

Por outro lado, quanto maior o valor da Folha, maior será o seu Custo da Mercadoria Vendida.

10.7. VALOR EM PUBLICIDADE

Na decisão do gasto em Publicidade o jogo oferece 10 (dez) opções variando de 0 a 4.500,00 (quatro mil e quinhentos).

O critério utilizado pelo jogo na decisão de Publicidade é o seguinte: para cada 100,00 (cem) investido em Publicidade você vende 1 (uma) peça a mais.

10.9. PERCENTUAL DO LUCRO

Nesta decisão você define qual será a percentagem do lucro sobre o Capital que você deseja. O jogo oferece 8 (oito) opções de percentagem que variam de 1% a 12% ao mês.

No jogo, o Lucro irá definir o Preço de Venda do seu produto.

Para definir o Lucro você deve basear-se em uma série de fatores. No Brasil, por exemplo paga-se hoje para qualquer tipo de investimento, taxas de juros altas em relação ao resto de outros países, não só para atrair capital externo e equilibrar nossa balança de pagamentos, mas também para restringir o consumo evitando assim a volta da inflação (estamos em julho 98). A taxa atual é de 20% ao ano, ou seja 1,66% ao mês, não considerando juros compostos. Você deve basear-se também em outros indicadores de mercado.

A poupança, por exemplo, rende em torno de 1,2% ao mês, um CDB chega a 3 %, a Bolsa 4%, o agiota ganha de 6% a 10%, as lojas cobram 6%, um imóvel (risco baixo) 1%. Por outro lado no exterior uma taxa de 8% AO ANO é considerada alta. Claro que o seu lucro não pode fugir muito destes patamares.

A sua decisão está relacionada aos demais participantes. É ela que determinará o preço de venda e conseqüentemente influirá na quantidade vendida. Assim se você for muito ambicioso (lucro alto) poderá ter uma decepção nas vendas, da mesma forma que se for conservador (lucro baixo) dificilmente ganhará o jogo pois

o lucro interfere em 3 critérios de pontuação. É como um jogo de poker ou, se formos mais longe, a realidade da maioria dos mercados, onde é preciso ser perspicaz e ‘adivinhar’ a decisão dos concorrentes, definindo assim o melhor índice não só quanto ao lucro mas também na decisão seguinte que trata da quantidade prevista.

10.10. QUANTIDADE PREVISTA DE VENDA

Nesta decisão o Jogo oferece 16 (dezesseis) Previsão de Vendas do seu produto. Para tomar esta decisão o jogador necessita um pouco de feeling, pois não sabe qual é o preço de seus concorrentes (outros jogadores) e o preço é um dos fatores que mais influi na quantidade vendida.

No jogo, para cada percentual que seu Preço for menor que o maior Preço de mercado você venderá 2 (duas) peças a mais.

Influem ainda na quantidade vendida os gastos com Publicidade, com a Folha de Pagamento há que se considerar que, pelo simples fato de existir, cada empresa já vende uma quantidade mínima de vinte peças.

10.11. RESULTADO PARCIAL

Após essa decisão, é apresentado o Resultado Parcial, já com a quantidade vendida e lucro orçado de cada empresa. Com base nesses dois critérios, é apresentada a classificação das empresas até o momento.

10.12. REDUÇÃO DOS GASTOS GERAIS DE FABRICAÇÃO

Nesta parte do jogo, repete-se o processo ocorrido no início do Jogo, ou seja, seleciona-se quem é o próximo a jogar.

Na decisão você necessita de raciocínio rápido para analisar quais das 5 (cinco) fórmulas apresentadas pelo Jogo são as 3 (três) que resultam no valor mais alto. À soma destas 3 será a Redução nos Gastos Gerais de Fabricação de sua empresa, mas o tempo para essa decisão é limitado. Portanto, pense rápido.

Quanto maior for o seu resultado maior será a economia de sua empresa.

Originalmente, o GGF é de 2.000, sendo que a redução, em casos especiais, pode até suprimir totalmente essa despesa.

10.13. PREÇOS DE MATÉRIA-PRIMA

O Jogo oferece 5 (cinco) opções de valores de matéria-prima que variam de 103,00 a 115,00. Nesta decisão você faz a função de um representante do fornecedor de matérias-primas, oferecendo um preço aos seus concorrentes. Não deixe o seu concorrente (outro jogador) ver esta sua decisão porque automaticamente cada empresa comprará pelo menor preço ofertado. Ao vender matéria-prima, sua empresa ganha uma comissão equivalente à quantidade de peças compradas pelo seu cliente, multiplicada pelo valor ofertado menos 100, que é o preço mínimo estipulado.

Cada empresa compra uma quantidade de Matéria-Prima igual à de Produtos Acabados Vendidos. Lembre-se que você está fazendo o papel de representante, logo esta oferta é independente do material que você está comprando.

10.14. POLÍTICA DE COMPRAS

O Jogo oferece 3 (três) opções para decidir. Você pode adotar uma Política de Compras para 1 mês, 2 meses ou 3 meses.

Praticando uma política de compras com grandes quantidades ganha-se descontos com o fornecedor, porém, no término do Jogo sua empresa precisa financiar o saldo em estoque. Por outro lado, se adotar uma Política de Compras Just-in-Time, ou seja, comprar para um mês, deixa de receber descontos de seu fornecedor, não precisando de capital para financiar o estoque.

O Jogo fornece descontos dependendo da opção decidida. Veja tabela a seguir:

Política de compras	Desconto oferecido
1 mês	0
2 meses	10%
3 meses	20%

10.15. CONTROLE DE QUALIDADE

Nesta etapa do Jogo você estará envolvido com a qualidade do seu produto. O Jogo apresenta na tela 30 ícones que estão representando o seu produto. Você deve identificar o mais rápido possível qual é aquele que apresenta um defeito.

O Jogo oferece is segundos para achar o produto com defeito. Cada segundo equivale a uma peça perdida. A esta quantidade é somado um adicional, adicional este que depende do valor decidido na Folha. Peça perdida não é faturada, pois a quantidade produzida foi baseada nas vendas.

Exemplificando, se o preço de venda de seu produto for 600,00 reais, e sua decisão na Folha foi de 2.000.00 e você levou 5 segundos para achar o produto com defeito, o resultado será o seguinte: por você ter investido 2.000,00 na Folha adiciona-se 1 produto nas perdas e multiplica-se o total pelo preço do seu produto:

- Perda pela Folha: 1
- Perda pelo Tempo: 5
- Preço do Produto: 600,00

Perda no Faturamento = $(1 + 5) \times 600,00 = 3.600,00$

Caso você tivesse decidido 3.000,00 na Folha de Pagamento não haveria perda adicional e se a decisão fosse 1.000,00 na Folha haveria uma perda adicional de 3 produtos.

10.16. ABATIMENTO

Esta é a ultima decisão do Jogo. Nela você define o abatimento a ser concedido ao seu cliente. Ele sempre reclama de alguma coisa e exige um abatimento para quitar a duplicata.

O tempo disponível para a discussão é aleatório, variando de 7 a 45 segundos. Conforme o tempo evolue, o cliente cede no abatimento que começa em 15% e pode chegar até 0%.

Caso o tempo se esgote e a negociação não foi fechada, o desconto passa a ser o inicial, ou seja, 15%.

Após esta decisão é apresentado o resultado final com todos os valores envolvidos no jogo, e a pontuação que define a classificação geral das empresas.

10.17. REGRAS DE CALCULO

As regras de cálculo utilizadas no jogo são as seguintes:

PREÇO DE VENDA (PV)

PV = Custo Unitário de Fabricação + (Desp. Administrativas / Previsão de Vendas) + (Publicidade / Previsão de Vendas) + Imposto sob Preço de Venda + (Lucro Desejado/Previsão de Vendas)

Exemplo:

Descrição	Valor	Origem
Folha	2000	Decisão do jogador
Previsão de vendas	100	Decisão do jogador
Lucro	5%	Decisão do jogador
Capital	105.000	Decisão do jogador
Publicidade	2000	Decisão do jogador
Matéria Prima (MP)	100	Valor Fixo pelo Jogo*

Gastos Gerais de fabricação	2000	Valor Fixo pelo Jogo*
Imposto	0,18	Valor Fixo pelo Jogo*
Desp. Administrativas	10.000	Valor Fixo pelo Jogo*

* Os valores fixados pelo jogo poderão ser alterados utilizando a parametrização

Primeiramente, calcula-se o Custo Unitário de Fabricação e o Lucro Desejado:

Custo Unitário de Fabricação: Matéria Prima + (Folha/Previsão de Vendas) +
(Gastos Gerais de Fabricação/Previsão de Vendas)

Custo Unitário de Fabricação: $100 + (2.000/100) + (2.000/100) = 140$

Lucro Desejado: $(LUCRO / 100) \times Capital$

Lucro Desejado: $(5 / 100) \times 105.000 = 5.250$

Agora que já possuímos os valores do Custo Unitário de Fabricação e o Lucro Desejado, iremos calcular o Preço de Venda do produto:

Preço de Venda = Custo Unitário de Fabricação +
(Desp. Administrativas/Previsão de Vendas) +
(Publicidade/Previsão de Vendas) +
Imposto x Preço de Venda +
(Lucro Desejado/Previsão de Vendas)

$PV = 140 + (10.000/100) + (2.000/100) + (0,18 \times PV) + (5.250/100)$

$PV = 140 + 100 + 20 + (0,18 PV) + 52,50$

$PV - (0,18 PV) = 312,50$

$0,82 \quad PV = 312,50$

$PV = 312,50 / 0,82$

$PV = 381,09$

QUANTIDADE PELO PREÇO (QP):

É a quantidade de peças vendidas em função do preço mais alto em relação ao preço mais baixo.

Quantidade pelo Preço = $((Preço\ Mais\ Alto / Preço\ de\ Venda) - 1) \times 100 \times 2$

Quantidade pelo Preço = $((635/381) - 1) \times 200 = 133$

QUANTIDADE TOTAL VENDIDA

É a quantidade de peças vendidas por sua empresa.

$$\text{Quantidade Vendida} = (\text{Quantidade Mínima} + (\text{Publicidade} / \text{Peças por Anúncio}) + \text{Quantidade pelo Preço}) \times \text{Acréscimo pela Folha}$$

Exemplo:

Descrição	Valor	Origem
Quantidade Mínima	20	Valor Fixo pelo jogo*
Publicidade	2000	Decisão do jogador
Peças por Anúncio	100	Valor Fixo pelo jogo*
Preço mais Alto	635,00	Calculado pelo jogo
Preço de Venda	381,00	Calculado pelo jogo
Quantidade que cada % de preço vende	2	Valor Fixo pelo jogo*
Folha	2000	Decisão do jogador
Menor valor da Folha	1000	Valor Fixo pelo jogo*
Valor da Folha para a % Que a Qualidade vende	1000	Valor Fixo pelo jogo*
Porcentagem que a Qualidade vende	10	Valor Fixo pelo jogo*

* Os valores fixados pelo jogo poderão ser alterados utilizando a parametrização

**Pelo simples fato de sua empresa existir ela vende 20 peças

$$\text{Quantidade Vendida} = (\text{Quantidade Mínima} + (\text{Publicidade}/\text{Peças po Anúncio}) + \text{Quantidade pelo Preço}) \times (1 + (\text{FOLHA} - \text{Menor Valor da Folha}) / (\text{Valor da Folha para a \% que a qualidade vende} \times \text{Porcentagem que a Qualidade Vende}))$$

Quantidade Vendida =

$$(20 + (2.000 / 100)) + 133) \times (1 + (2.000 - 1.000) / (1.000 \times 10)) =$$

$$(20 + 20 + 133) \times 1,1 = 190$$

FATURAMENTO

O Faturamento de uma empresa é a Quantidade Vendida multiplicada pelo Preço de Venda.

$$\text{Faturamento} = \text{Quantidade Vendida} \times \text{Preço de Venda}$$

Exemplo:

	Valor	Origem
Quantidade Vendida	1901	Calculado pelo Jogo
Preço de Venda	381	Calculado pelo Jogo

$$\text{Faturamento} = 190 \times 381 = 72390$$

CUSTO DA MERCADORIA VENDIDA (CMV)

$$\text{Custo da Mercadoria Vendida} = \text{Folha} + \text{Gastos Gerais de Fabricação} + (\text{Preço Unitário da Matéria Prima} \times \text{Quantidade Vendida})$$

Descrição	Valor	Origem
Folha	2000	Decisão do jogador
Gastos Gerais de Fabricação	2000	Valor fixo pelo jogo
Matéria Prima	100	Valor fixo pelo jogo
Qtde. Vendida	190	Calculado pelo jogo

$$\text{Custo da Mercadoria Vendida} = 2.000 + 2.000 + (100 \times 190) = 23.000$$

LUCRO ORÇADO

$$\text{Lucro Orçado} = \text{Faturamento} - \text{Custo da Mercadoria Vendida} - \text{Despesas Administrativas} - \text{Despesas de Vendas} - \text{Publicidade}$$

Para calcularmos o valor do Lucro Orçado, primeiramente necessitamos do valor das Despesas de Vendas:

$$\text{Despesas de Vendas} = \text{Imposto} \times \text{Faturamento}$$

Exemplificando,

Descrição	Valor	Origem
Imposto	0,18	Valor fixo pelo jogo
Qtde. Vendida	190	Calculado pelo jogo
Preço de venda	381	Calculado pelo jogo

$$\text{Despesas de Vendas} = 0,18 \times (190 \times 381) = 13.030$$

Agora calcularemos o Lucro Orçado,

Descrição	Valor	Origem
Faturamento	72390	Calculado pelo jogo
Custo da Mercadoria vendida	23000	Calculado pelo jogo
Despesas Adm.	10000	Valor fixo pelo jogo
Despesas de Vendas	13030	Calculado pelo jogo
Publicidade	2000	Decisão do jogador

$$\text{Lucro Orçado} = \text{Faturamento} - \text{Custo da Mercadoria Vendida} - \text{Despesas Administrativas} - \text{Despesas de Vendas} - \text{Publicidade}$$

Lucro Orçado = 72.390-23.000--10000-13.030-2.000 = 24.360

COMISSÃO

À Comissão é baseada na decisão de venda da Matéria-Prima, onde você faz o papel de um representante de um fornecedor e, dependendo da melhor oferta de preço, você pode ou não vender matéria-prima aos outros jogadores.

Comissão = Quantidade Vendida pelo seu cliente x (Oferta - Valor da Matéria-Prima)

Exemplo:

Descrição	Valor	Origem
Qtde. Vendida pelo cliente	44	Calculado pelo jogo
Oferta	115	Decisão do jogador
Matéria-prima	100	Valor fixo pelo jogo

Comissão = Quantidade Vendida pelo seu cliente x (Oferta - Valor da Matéria-Prima)

Comissão = 44 x (115- 100) = 660

Quando um jogador vende para mais que um cliente, receberá a soma das comissões, exemplo:

Quem ofereceu	Para quem ofereceu	Por quanto ofereceu
Jogador 1	Jogador 2	106
Jogador 1	Jogador 3	106
Jogador 2	Jogador 1	109
Jogador 2	Jogador 3	109
Jogador 3	Jogador 1	103
Jogador 3	Jogador 2	103

Visualizando a tabela concluímos que o jogador 3 receberá a comissão referente à somatória das vendas de matéria-prima para os jogadores 1 e 2, pois ofereceu para ambos o preço mais baixo.

LUCRO REAL

Para calcular o Lucro Real de sua empresa são necessárias 3 (tres) informações:

- 1.Quantidade Real de Peças Produzidas (deduzidas as perdas);
- 2.Valor do Faturamento;
- 3.Valor do Custo Real de Fabricação.

O cálculo utilizado para o Lucro Real é o seguinte:

Descrição	Valor	Origem
Comissão	660	Calculado pelo jogo
Despesas Administrativas	10.000	Valor Fixo pelo jogo
Publicidade	2.000	Decisão do Jogador
Imposto (Desp. com Vendas)	18%	Valor Fixo pelo jogo

Abatimento no Recebimento	15	Decisão do jogador
Preço de Venda	381	Calculado pelo jogo
Quantidade Vendida	190	Calculado pelo jogo
Preço de compra	103	Decisão do outro jogador
Folha	2.000	Decisão do jogo
Gastos Gerais de Fabricação	2.000	Valor Fixo pelo jogo
Redução dos Gastos	900	Decisão do jogador
Perdas	16	Decisão do jogador
Política de compras, logo	2	Decisão do jogador
Desconto para as Compras	10	Calculado pelo jogo
Lucro Real = (Faturamento+Comissão)- Custo da Mercadoria		
Vendida - Despesa de Vendas Publicidade - Despesa Administrativa		

Os cálculos para cada um dos valores anteriores são os seguintes:

1. Quantidade Real entregue

$$\text{Quantidade Real Entregue} = \text{Quantidade}$$

$$\text{Quantidade Real Entregue} = 190 - 16 = 174$$

2. Valor do Faturamento

$$\text{Faturamento} = \text{Quantidade Entregue} \times \text{Preço de venda}$$

$$\text{Faturamento} = 174 \times 381 = 66.294$$

3. Valor do Custo Real de Fabricação

$$\begin{aligned} \text{Custo Real de Fabricação} = & \text{Preço de Compra} \times ((100 - \\ & \text{Desconto para as Compras}) / 100) \times \\ & \text{Quantidade Produzida} \\ & + \text{Folha} + (\text{Gastos Gerais de Fabricação} - \text{Redução dos Gastos}) \end{aligned}$$

$$\text{Custo Real de Fabricação} = 103 \times ((100 - 0) / 100) \times 174 = 20.713.$$

Agora que já possuímos o valor da Quantidade Real de Fabricação, vamos calcular o Lucro Real:

$$\begin{aligned} \text{Lucro Real} = & \text{Faturamento} + \text{Comissão} - \text{Custo Real de fabricação} - \\ & \text{Despesas Administrativas} - \text{Publicidade} - ((\text{Imposto} / 100) \times \\ & \text{Faturamento}) - (\text{Faturamento} \times (\text{Abatimento sobre recebimento}) / 100) \\ \text{Lucro Real} = & (66.294 + 660) - 20.713 - 10.000 - 2.000 - 100 \times 66.294 - ((15 / 100) \times \\ & 66.294) = \\ & 34.241 - 11.932,92 - 9.944,10 = 12.363,98. \end{aligned}$$

Veja então que o lucro caiu de 24.360,00, que foi o para 12.363,98 que é o real.

Retorno sobre o capital (se lucro negativo, retorno = 0):

Para calcular o retorno sobre o capital no Jogo basta aplicar o seguinte cálculo:

$$\text{Retorno s/ Capital} = (\text{Lucro Real} / \text{Capital}) \times 100$$

Exemplo:

$$\text{Retorno s/ Capital} = (12.36398 / 105.000) \times 100 = 11.77\%$$

ADMINISTRAÇÃO DO CAIXA

Finalmente, iremos calcular o Caixa, lembrando que um dos objetivos para vencer o Jogo é não deixá-lo negativo.

Primeiramente iremos calcular o Estoque Final em valor:

$$(\text{Quantidade Comprada} - \text{Consumo}) \times (\text{Preço de Compra} - \text{Desconto sobre as Compras})$$

Consumo = Quantidade Vendida, pois cada PA leva uma MP, ou seja, 190.

$$\text{Quantidade Comprada} = 2 \times 190 = 380$$

$$\text{Preço de Compra com Desconto} = 103 \times ((100 - 10)/100) = 92,70$$

Saldo Final em Estoque

$$(380 - 190) \times 92,70 = 17.613,00$$

Saldo do Caixa:

$$(\text{Capital} + \text{Lucro Real}) - (\text{Imobilizado} + \text{Estoque})$$

Exemplo:

$$(105.000,00 + 12.363,98) - (100.000,00 + 17.613,00) = -249,02$$

À perda de pontos depende do valor do caixa negativo.

Valor	Pontos
< - 10000	-5
< - 5000	-3
< - 3000	-2
< 0	-1

10.18. PARAMETRIZAÇÃO

À Parametrização foi projetada para permitir alteração dos valores do jogo, seja para aproximá-los de alguma situação específica, seja para mudar as regras caso algumas estratégias fiquem viciadas.

Dependendo dos novos valores atribuídos, a consequência decada Jogada pode mudar totalmente.

11. GRÁFICO DE GANTT

11.1. CONCEITO

É um instrumento para a visualização de um programa de produção, auxiliando na análise de diferentes alternativas de sequenciamento deste programa.

11.2. FUNÇÃO

São utilizados para selecionar, a partir de informações sobre os lotes e estado do sistema produtivo, qual dos lotes terá prioridade no processamento e/ou carregamento.

11.3. COMO FAZER O GRÁFICO DE GANTT

- Eixo vertical: representa ordens de programação ou recursos.
- Eixo horizontal: representa o tempo (min, horas, dia, meses).
- Informações: representa quanto tempo o recurso será utilizado nesta determinada operação.
- Símbolos: representam os diferentes objetos analisados.
- Softwares: Ms-project, Preactor, System Modeling.

11.4. REGRAS DE SEQUENCIAMENTO

Lotes = atividades = ...

- 1) PEPS: primeiro que entra é o primeiro que sai, FIFO. Pe.: os lotes serão processados de acordo com sua chegada ao recurso.
- 2) MTP: menor tempo de processamento. Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso.
- 3) MDE: menor data de entrega. Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega.
- 4) IPI: índice de prioridade. Os lotes serão processados de acordo com o valor de prioridade atribuída ao cliente ou ao produto.
- 5) ICR: índice crítico. Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: data de entrega/ tempo de processamento.
- 6) IFO: índice de folga. Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: data de entrega - tempo de processamento.

11.5. CARACTERÍSTICAS PARA O USUÁRIO

- Simplicidade,
- Transparência,
- Interatividade,
- Gerar prioridades palpáveis,
- Facilitar o processo de avaliação.

11.6. COMO CALCULAR

Lead Time: é o tempo total. A soma dos tempos até o término das operações.

Atraso Total: tempo que realmente levou para o término da operação, menos o tempo que deveria ser levado para o término da operação

Tempo de espera: tempo que o lote ficou esperando para ser processado no recurso seguinte, pois havia um outro lote sendo processado.

Ociosidade: tempo que uma ou mais máquinas ficam paradas esperando o lote ser processado. Como convenção não se considera a primeira operação.

11.7. EXERCÍCIO SOBRE GRÁFICO DE GANTT

- 1) Um processo produtivo deve ter a seguinte seqüência de produção: Setor A, Setor B e Setor C. Os produtos e os respectivos tempos de produção que levam em cada setor estão especificados abaixo. Pede-se:
 - a) Construa um gráfico de Gantt.
 - b) Calcule o Lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso para cada Opção.
 - c) Qual a seqüência de produção que minimiza o Lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso.

Tempo de processo (horas)			
	Setor A	Setor B	Setor C
P1	2	5	10
P2	4	2	8

Fonte: Depto Produção

- 2) Uma empresa necessita produzir 3 produtos: P1, P2 e P3, que utilizam as máquinas 1, 2, 3 e 4 por tempos determinados na tabela abaixo. Pede-se:
 - a) Construa um gráfico de Gantt.
 - b) Calcule o Lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso para cada opção.
 - c) Qual a seqüência de produção que minimiza o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso.

Tempo de processamento (horas)				
	Máq. 1	Máq. 2	Máq. 3	Máq. 4
P1	2	8	2	1
P2	4	3	1	1
P3	8	--	1	1

Fonte : Depto Produção

- 3) Suponha que a empresa do exemplo anterior compre mais uma máquina 1. Pede-se:
 - a) Construa a nova tabela de processamento.
 - b) Construa um gráfico de Gantt.

- c) Calcule o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso para cada opção.
- d) Qual a sequência de produção que minimiza o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso.
- 4) Três ordens de produção precisam ser processadas na máquina A e embaladas na máquina B. Os tempos de processamento (incluindo set-up), as datas em que os produtos devem ser entregues (em nº de horas a partir da programação) e as prioridades atribuídas a cada ordem (pela importância do cliente) são apresentados na tabela abaixo. Pede-se
- a) Qual a sequência das ordens de produção pelas regras PEPS, MTP, MDE, IPI, ICR e IFO.
- b) Faça um gráfico de Gantt para representar as sequências de produção de cada regra.
- c) Calcule para cada regra o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso.
- d) Qual regra você utilizaria, supondo que o custo/hora do Lead Time, ociosidade, tempo de espera e atraso seja o mesmo e igual a \$1,00?

Dados de Produção

Ordens	Máq A (h)	Máq B (h)	Entrega (h)	Prioridade
OP 1	4	4	13	3
OP 2	7	5	12	2
OP 3	3	8	17	1

Fonte: Depto produção

- 5) Cinco ordens de fabricação precisam ser estampadas na máquina A e em seguida, usinadas na máquina B. Os tempos de processamento (incluindo os set-up), as datas de entrega (em nº de horas a partir da programação) e as prioridades atribuídas a cada ordem são apresentadas na tabela abaixo. Pede-se:
- a) Qual a sequência das ordens de produção pelas regras: PEPS, MTP, MDE, IPI, ICR. E IFO.
- b) Faça um gráfico de Gantt para representar as sequências de produção de cada regra.
- c) Calcule para cada regra o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso.
- d) Qual regra você utilizaria, supondo que o custo/hora do lead time , ociosidade, tempo de espera e atraso seja o mesmo e igual a \$1,00?

Dados de Produção

Ordens	Máq A (h)	Máq B (h)	Entrega (h)	Prioridade
OF 1	5	5	15	4
OF 2	8	6	20	1
OF 3	4	5	13	3
OF 4	2	4	10	2
OF 5	4	3	9	5

Fonte: Empresa X

- 6) Quatro ordens de produção precisam ser processadas na máquina A e embaladas na máquina B. Os tempos de processamento (incluindo set-up), as datas em que os produtos devem ser entregues (em nº de horas a partir da programação) e as prioridades atribuídas a cada ordem (pela importância do cliente) são apresentados na tabela abaixo. Pede-se:

- Qual a seqüência das ordens de produção pelas regras: MTP, MDE, IPI e IFO.
- Faça um gráfico de Gantt para representar as seqüências de produção de cada regra.
- Calcule para cada regra o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso.
- Qual regra você utilizaria?

Dados de Produção

Ordens	Máq A (h)	Máq B (h)	Entrega (h)	Prioridade
OP 1	5	8	15	1
OP 2	12	--	13	2
OP 3	2	8	14	4
OP 4	9	2	11	3

Fonte: Depto. produção

- 7) Três ordens de produção precisam ser processadas na máquina A e embaladas na máquina B. Os tempos de processamento (incluindo set-up), e as datas em que os produtos devem ser entregues (em nº de horas a partir da programação) são apresentados na tabela abaixo. Pede-se:

- Qual a seqüência das ordens de produção pelas regras : MTP, MTP e IFO.
- Faça um gráfico de Gantt para representar as seqüências de produção de cada regra.
- Calcule para cada regra o lead time total, ociosidade total, tempo de espera e o atraso. Qual regra você utilizaria?

Dados de Produção

Ordens	Máq A (h)	Máq B (h)	Entrega (h)
OP 1	5	3	18
OP 2	7	9	16
OP 3	6	8	15

Fonte: Depto. produção

12. SIMULAÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar conceitos básicos de simulação. O termo ‘simular’ encontra inúmeras aplicações na vida prática. Na engenharia ele tem sido usado para designar as situações nas quais se tenta compreender as características de um sistema pelo conhecimento de outro que lhe é similar. A definição geralmente aceita é:

Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.

O termo simulação de sistemas é utilizado em diversos ramos da engenharia para aplicações bastante diferentes.

O termo “sistemas” tem sido usado em tantas situações que é uma definição suficientemente ampla e, ao mesmo tempo, concisa de modo que continue útil. Fugindo, então, desta polêmica sistema pode ser considerado como "uma agregação de objetos que alguma interação ou interdependência".

O termo “modelo” é aqui empregado para significar a representação de um sistema.

O que leva as pessoas a optarem pelo uso da simulação em situações nas quais outras técnicas, tais como - Programação Linear ou Estatística, poderiam também ser utilizadas? É comum encontrar como resposta a esta afirmativa de que é a técnica mais adequada”. Por se tratar de uma técnica que, uma vez dominada, pode ser facilmente aplicada, é também possível encontrar respostas do tipo “é a única técnica que domino”, uma clara demonstração de grande confiança no poderio da simulação.

Por outro lado, uma vez identificado um cenário que necessita ser dimensionado (ou redimensionado), o que nos leva a usar a simulação? A resposta:

- a) Inviabilidade da interferência com o sistema real. Trata-se daquela situação em que tentar alterar o sistema existente, sem ter uma certeza de que a alteração vai dar certo, pode significar um alto risco de prejuízo. Por exemplo, podemos citar o caso de alterar o Layout de uma fábrica ou o fluxo do trânsito de uma cidade.
- b) O sistema em estudo não existe, como por exemplo, quando se estuda a construção de uma nova fábrica.

11.1. METODOLOGIA PARA A SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

De uma maneira sucinta podemos dizer que a metodologia mais empregada para o estudo de sistemas é constituída das seguintes etapas:

ETAPA 1: Construção do modelo da situação atual:

Nesta etapa tentamos reproduzir em um modelo computacional situações existentes no sistema atual. Trata-se de construir um modelo, fornecer alguns dados e obter outros que sejam idênticos ao sistema atual usado em estudo: o modelo construído deve reproduzir fielmente o sistema que está sendo estudado. o objetivo é ter uma base-de-partida fiel para a etapa seguinte.

ETAPA 2: Inclusão de alterações no modelo da situação atual para refletir a situação futura desejada: Nesta etapa efetuamos alterações no modelo da etapa 1. Por exemplo, podemos estar estudando uma mineração na qual devemos aumentar a produção. Aqui, iremos “colocar em funcionamento” algumas novas máquinas de escavação e verificar qual será a necessidade de outros equipamentos.

BIBLIOGRAFIA

ERLICH, Pierre Jacques. Pesquisa Operacional: Curso Introdutório. 7ª edição. Atlas. São Paulo. 1991.

SILVA, Ermes Medeiros. Pesquisa Operacional para os cursos de: Economia, Administração e Ciências Contábeis.

SUAN, James & Stevens. Pesquisa Operacional: Uma abordagem básica. São Paulo. 1979.

HILLIER, Frederick S. e LIEBERMAN, Gerald J. Introdução à Pesquisa Operacional. 3ª edição. Editora Campus Ltda. São Paulo, 1988.

CUKIERMAN, Zigmundo Salomão. O Modelo PERT/CPM Aplicado a Projetos. 5ª edição. Qualitymark Editora. Rio de Janeiro, 1993.

SHAMBLIN, J.E., Pesquisa Operacional, uma Abordagem Básica. Editora Atlas. São Paulo.

PRADO, Darci, Programação Linear. Editora DG

PRADO, Darci, Teoria das Filas e da Simulação. Editora DG

PRADO, Darci, Usando o Arena em Simulação. Editora DG

TORTELLLO, João. Microsoft Project 98 Passo a Passo. Editora Makron Books