

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL

POLÍTICAS DE SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Tese submetida a Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do grau de Mestre em Ciências

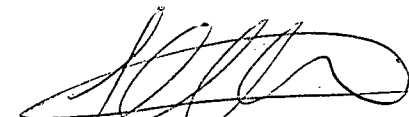
JOSÉ LUIZ PEREIRA DA ROCHA

FEVEREIRO - 1974

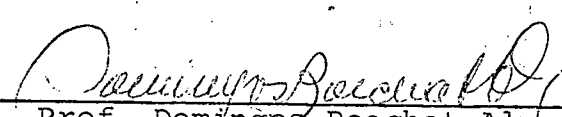
Esta tese foi julgada adequada para a
obtenção do título de

"Mestre em Ciências"

Especialidade Engenharia de Produção e aprovada em
sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação



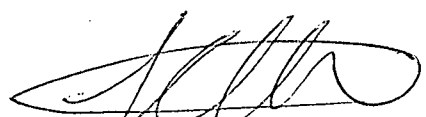
Prof. José Carlos Mello
Orientador



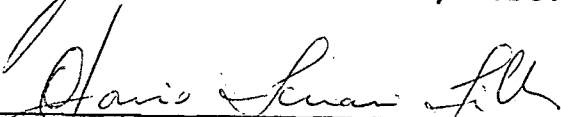
Prof. Domingos Boechat Alves
Integrador do Curso

Apresentada perante a Banca Examinadora composta dos

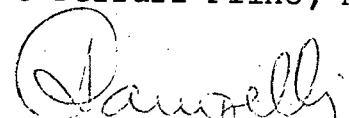
Professôres :



Prof. José Carlos Mello, M.Sc.



Prof. Otávio Ferrari Filho, M.Sc.



Prof. Adalberto José R. Campelli, M.Sc.



0.249.147-2

UFSC-BU

A meus pais
A minha esposa

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos :

- Ao Prof. José Carlos Mello pela orientação do trabalho;
- À CAPES e ao BNDE pelo auxílio financeiro;
- Aos colegas Luis Antônio Concli, Marcos Rodrigues da Cunha, José Benedito de Oliveira e Ieris Ramalho Cortês pela colaboração e estímulo;
- Aos alunos Francisco Nakagawara e Alba Regina Barbato Mattos, pelo trabalho de datilografia.
- A todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Importância da decisão "Substituir"	3
1.2 - Razões para substituir	4
1.3 - Fatores de influência num estudo de substituição	6
2 - SUBSTITUIÇÃO NÃO ALEATÓRIA	8
2.1 - Substituição encarada como decisão entre alternativas	10
2.1.1 - Métodos da engenharia econômica	10
2.1.1.1 - Método do custo anual equivalente	11
a - método direto	11
b - método da depreciação linear mais juro médio	13
2.1.1.2 - Método do valor atual	14
2.1.1.3 - Método da taxa interna de retorno	17
2.2 - Substituição considerando a vida útil econômica	18
2.2.1 - Vida útil econômica pelo método do custo anual equivalente uniforme	19
2.2.2 - Modelo de substituição baseado na maximização do lucro	28
2.2.3 - Modelo de substituição utilizando a equação de custos na forma contínua	33
2.2.4 - Modelo de substituição utilizando a equação de custos na forma discreta	41
2.3 - Modelos de Terborgh	52
2.3.1 - Introdução	52
2.3.2 - Primeiro modelo de Terborgh	53
A - Terminologia	53
B - Hipóteses básicas	54
C - Desenvolvimento do modelo	55
D - Cálculo do mínimo adverso do atacante.	55
E - Cálculo do mínimo adverso da defesa.	63

F - Regra de decisão	65
2.3.3 - Segundo modelo de Terborgh	65
A - Terminologia	65
B - Hipóteses básicas	66
C - Desenvolvimento do modelo	66
D - Cálculo do mínimo adverso do atacante.	66
E - Cálculo do mínimo adverso da defesa.	71
F - Regra de decisão	71
2.3.4 - Terceiro modelo de Terborgh	72
A - Terminologia	72
B - Objetivo do modelo	75
C - Cálculo do índice de urgência MAPI	75
D - Regra de decisão	78
2.4 - Método do capital planejado	78
2.4.1 - Introdução	78
2.4.2 - Substituição de equipamentos idênticos	79
2.4.3 - Substituição devida a obsolescência	85
3 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	87
3.1 - Taxa de retorno adequada	87
3.2 - Taxas de retorno e de inflação	88
3.3 - Taxas de inflação e de desvalorização da moeda	90
3.4 - Influência do imposto de renda e da depreciação nos estudos de substituição.	92
3.5 - Inflação e depreciação	98
3.6 - A administração nos estudos de substituição	105
4 - EXEMPLO PRÁTICO DE APLICAÇÃO DOS MODELOS DE SUBSTITUIÇÃO	111
4.1 - Objetivo	111
4.2 - Levantamento e apresentação dos dados	111
4.2.1 - Custos de manutenção	111
4.2.2 - Perda de valor comercial	112
4.2.3 - Preços de aquisição	112
4.2.4 - Dados de caráter geral	113
4.3 - Considerações sobre a influência do imposto de renda na aplicação dos modelos	113
4.3.1 - Taxa de retorno após a incidência do imposto de renda	113
4.3.2 - Influência do imposto de renda	114

4.4 - Aplicação dos modelos	115
4.4.1 - Aplicação do método do custo anual equivalente	115
4.4.2 - Aplicação do método do custo anual equiva- lente uniforme para determinar a vida útil econômica da Kombi	118
4.4.3 - Aplicação do modelo que utiliza a equação de custos na forma discreta para determi- nar a vida útil econômica	118
4.4.4 - Aplicação do segundo modelo de Terborgh . .	121
A - Obtenção do mínimo adverso do atacante (MAA)	121
B - Obtenção do mínimo adverso da defesa .	122
C - Regra de decisão	124
5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.	125
A N E X O S	128
- ANEXO A	129
ANEXO B	131
BIBLIOGRAFIA	132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Vida útil econômica de um equipamento . . .	18
FIGURA 2	- Gráfico das curvas $S(t) = Ce^{-Lt}$ para L = 0,250, L = 0,091 e L = 0,033	36
FIGURA 3	- Relação entre o custo anual total, <u>cus</u> to de capital anual e inferioridade <u>o</u> peracional.	54
FIGURA 4	- Modelo de projeção "standard"	73
FIGURA 5	- Modelo da mudança acelerada no fim da vida	74
FIGURA 6	- Modelo de mudança acelerada inicial	74
FIGURA 7	- Curvas representativas dos custos do equipamento	83
FIGURA 8	- Obtenção da vida econômica	84
FIGURA 9	- Depreciação linear de um equipamento com C = 30.000 e R = 5.000 em 10 anos	96
FIGURA 10	- Curva representativa dos coeficientes de correção monetária do ativo imobilizado. O índice unitário de 1964 serve de refe rência para os demais coeficientes.	104
FIGURA 11	- Variação dos índices gerais de preços, <u>ba</u> seados nos coeficientes do gráfico nº 2, para o período 67/72.	104
FIGURA 12	- Diagrama do fluxo de informações num <u>es</u> tudo de substituição de equipamentos.	107

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Custos de manutenção e valores residuais para um veículo de transporte. Estes valores são hipotéticos e usados para mostrar a aplicação do método do custo anual equivalente	21
QUADRO 2 - Forma tabular para o cálculo da vida útil econômica pelo método do custo anual equivalente uniforme para um ativo com C 2 Cr\$ 20.000,00 e $i = 10\%$	22
QUADRO 3 - Forma tabular para o cálculo da vida útil econômica pelo modelo que utiliza a equação de custos na forma discreta	51
QUADRO 4 - Custos de manutenção da "Kombi"	112
QUADRO 5 - Preços de mercado das Kombis Standard ano de fabricação 1970.	112
QUADRO 6 - Imposto de renda a pagar sobre os ganhos de capital.	115
QUADRO 7 - Forma tabular para determinar a vida útil econômica da "Kombi", através da aplicação do modelo do custo anual equivalente.	119
QUADRO 8 - Forma tabular para encontrar a vida útil econômica da "Kombi", através da aplicação do modelo que utiliza a equação de custos na forma discreta	120

R E S U M O

Este trabalho pretende reunir condições para que se possa estabelecer políticas de substituição de equipamentos.

O estudo é iniciado por uma parte introdutória que mostra a importância e as razões da substituição.

Na 2ª parte são apresentados métodos e modelos de substituição considerando-a sob vários aspectos.

Na 3ª parte são feitas considerações gerais sobre o estudo (taxa de retorno, inflação, influência do imposto de renda e da depreciação e a administração nos estudos de substituição).

Na 4ª parte desenvolve-se um exemplo prático de aplicação dos métodos e modelos, tomando uma "Kombi" da frota da UFSC.

Finalmente apresentam-se conclusões e recomendações sobre a utilização dos métodos e modelos.

A B S T R A C T

This work intends to join conditions so that it can be fixed equipment replacement policies.

The study starts with an introductory part on the importance and reasons of replacement.

In the second part are presented methods and replacement models concerning it under various aspects.

In the third part are made general considerations about replacement: (rate of return, inflation, income tax, depreciation and the management policies).

In the fourth part it is developed a practical example of methods and models applications, taking a " Kombi " of the UFSC fleet.

At the end it is presented conclusions and recommendations about the methods and utilization of the models.

1 - INTRODUÇÃO

As indústrias sempre tiveram a intenção de aumentar sua produtividade e, hoje, com o acentuado crescimento tecnológico, torna-se mais evidente este fato, pois só sobrevive aquela que, com o aumento de sua produtividade, consegue manter-se em condições de concorrência com as demais.

Um dos meios pelos quais uma empresa industrial pode aumentar sua produtividade é através da redução de seus custos. Custos de operação e manutenção dos equipamentos podem ser controlados e reduzidos com estudos sistemáticos de substituição dos equipamentos. Daí surge a necessidade deste estudo.

Este trabalho limita-se ao estudo de substituições de equipamentos cuja eficiência operacional decresce com o decorrer do tempo, devido à ação do desgaste físico. Tais equipamentos necessitarão, em certas épocas, de reparos para restabelecer a sua eficiência operacional. Desta forma, existirá uma idade na qual substituir o velho equipamento é mais econômico do que continuar com custos de operação e manutenção crescentes.

Outra classe de equipamentos, quanto à sua substituição, é aquela cujas falhas ocorrem instantânea e completamente, não havendo, neste caso, qualquer ação para restabelecer a eficiência. Lâmpadas elétricas são um exemplo típico desta classe. Não será efetuado, aqui, o estudo de substituições destes equipamentos.

Partindo da premissa de que a indústria possui um sistema de contabilidade de custos, com registros históricos dos gastos de equipamentos, os quais servirão para projeções futuras, o presente trabalho tem por objetivo mostrar como se pode estabe-

lecer uma política ótima de substituição de equipamentos. Para atingir sua finalidade, o trabalho apresenta-se dividido em cinco partes principais : uma parte introdutória, uma parte que apresenta modelos matemáticos tratando da substituição sob diferentes aspectos, uma terceira parte que abrange considerações gerais sobre taxas de retorno, depreciação, inflação, imposto de renda e ainda administração nos estudos de substituições, uma parte que desen - volve um exemplo prático de substituição, tomando uma " Kombi " da frota da UFSC, e finalmente uma parte de conclusões.

Espera-se ter conseguido o intento desejado.

1.1 - IMPORTÂNCIA DA DECISÃO " SUBSTITUIR "

A comparação entre custos e receitas, visando a selecionar uma melhor alternativa, atinge os objetivos da empresa que, embora podendo ter outros objetivos, faz negócios buscando lucro. O estudo da substituição é basicamente a comparação de alternativas. Normalmente, as empresas têm intenção de operar bem no futuro, com possibilidades de expansão de suas atividades. Os meios básicos pelos quais estes objetivos poderão ser alcançados são os prédios, maquinaria e outros bens de produção que tornam possível a obtenção de receitas.

O estudo da substituição permite melhor estabelecer e controlar custos de operação e manutenção, controlar empréstimos e gastos de capital efetuados com os meios básicos (acima descritos), com a finalidade de torná-los o mais rentáveis possível.

Para itens que estão sujeitos a falhar completamente, a teoria da reposição pode oferecer soluções para programar a manutenção.

" Nos Estados Unidos, as empresas industriais aplicam de 10 a 20% do total de seus bens em fábricas e equipamentos. Tanto do ponto de vista do administrador como do armazenador, o estudo exige a mais cuidadosa atenção. Para quem mantém estoque, a proteção do seu investimento inicial e a continuidade de sua renda são de extrema importância. Para o administrador, a manutenção de seu trabalho é essencial, além do seu orgulho numa operação competitiva.

Este problema é de particular interesse para a indústria americana. Parece haver uma tendência no sentido de abrir

e expandir a concorrência das indústrias estrangeiras. Muitos destes industriais estrangeiros estão construindo novas fábricas e equipando-as com a última palavra em maquinaria automática de alta velocidade. Com a vantagem do equipamento e custos mais baixos de mão-de-obra, a concorrência é muito mais efetiva. E a verdade é que os industriais norte-americanos compraram os melhores equipamentos, embora uma análise da maquinaria e do equipamento normalmente mostrará uma vasta capacidade instalada de produção com mais de 15 anos de idade".¹

Os estudos sistemáticos dos problemas de substituição podem trazer algumas vantagens para as empresas, tais como :

1. Redução dos custos de manutenção;
2. Redução dos custos de produção, mantendo a empresa em concorrência com as demais;
3. Redução das perdas por refugos;
4. Aumento do moral e do entusiasmo dos supervisores e operários resultando em redução dos custos e melhor relacionamento humano.

1.2 - RAZÕES PARA SUBSTITUIR

As razões básicas para que um equipamento seja retirado ou substituído, são :

¹ SCHWAN, H.T. - Maynard Manual de Engenharia de Produção, Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1970, p. 93, seção 3, Instalações Industriais.

a-) Deterioração Física - A deterioração física é causada por mudanças nas condições físicas do equipamento. Ela provoca: o decréscimo de rendimento de uma máquina, o acréscimo dos custos de manutenção e de operação. Por exemplo, a deterioração física causa uma diminuição no rendimento de um caminhão e aumenta seus custos de manutenção, pois quanto mais velho o caminhão, maiores serão os gastos de reparos.

b-) Obsolescência - Ocorre como o resultado de um contínuo melhoramento dos equipamentos. Estes novos equipamentos, mais eficientes, são também mais econômicos. Em certos casos, a taxa de desenvolvimento tecnológico é tão grande, que se torna mais econômico substituir um equipamento em boas condições de operação por uma nova unidade.

c-) Equipamento Inadequado - O equipamento não tem capacidade suficiente para satisfazer a demanda atual, tornando-se um candidato à substituição. Este caso é geralmente manifestado quando o equipamento tem capacidade fixa e o aumento de demanda, não previsto, excede sua capacidade. O problema de equipamento inadequado não necessariamente será causado por deterioração física. A inadequação pode ocorrer também devido a custos operacionais elevados, por exemplo, o avião " Concorde " é um modelo inadequado por ser anti-econômico, embora, ainda, nem tenha entrado em tráfego regular : os seus custos operacionais são muito elevados.

d-) A Unidade Falha Completamente - Há casos em que o equipamento deve ser substituído porque falhou completamente.

e-) Combinação das Razões Anteriores - As razões anteriores podem estar combinadas determinando, desta forma, a substituição.

1.3 - FATORES DE INFLUÊNCIA NUM ESTUDO DE SUBSTITUIÇÃO

Num estudo de substituição de equipamentos, existem vários fatores de grande importância a serem considerados, e, quando o analista do problema os leva em consideração, o estudo da substituição não é basicamente diferente do estudo de alternativas em engenharia econômica, ou da escolha de um período ótimo de substituição.

Estes fatores são :

a-) Equipamento a ser substituído:

1. Preço de compra;
2. Custos de operação e manutenção;
3. Vida útil estimada;
4. Valor residual no fim da vida útil;
5. Idade atual;
6. Valor residual na data atual;
7. Impostos e seguros;
8. Capacidade produtiva;
9. Fundo de reserva para depreciação;

10. Reconhecimento de um erro passado, tomado como experiência negativa;
11. Outros fatores.

b-) Equipamento substituto:

1. Preço de compra, incluindo acessórios (transformadores, motores, geradores, painéis de controle, armários, vigas, cabos, trilhos, etc.);
2. Custos de operação e manutenção estimados;
3. Vida útil estimada;
4. Valor residual estimado no fim da vida útil;
5. Impostos e seguros;
6. Capacidade produtiva;
7. Custos de programas de treinamento de pessoal;
8. Custos das interrupções na produção decorrentes da instalação do novo equipamento;
9. Taxa de retorno adequada;
10. Custo de mão-de-obra e dos materiais de instalação: obras civis, modificações ocasionais nos prédios, rearranjo físico das demais máquinas que têm de ser removidas, canalizações, rede elétrica, pintura, etc. Este custo poderá aparecer incluído no preço de compra que passará a ser chamado "preço de compra do equipamento instalado";
11. Outros fatores.

2 - SUBSTITUIÇÃO NÃO-ALEATÓRIA

Existem duas classes de equipamentos no que se refere a falhas, desgaste, etc. Uma classe é aquela cujos equipamentos se desgastam com o decorrer do tempo havendo, conseqüentemente, uma queda crescente do seu rendimento. Estes tipos de equipamentos necessitam, em certas épocas, de reparos para que seja restabelecida a sua eficiência operacional. Um exemplo deste tipo é o veículo automotor. A outra classe de equipamentos é aquela cujos equipamentos falham instantânea e completamente, não havendo, neste caso, nenhuma ação de conserto. Nesta classe o equipamento falha e logo deve ser substituído por outro que realize as mesmas funções do anterior. Válvulas eletrônicas e lâmpadas elétricas são alguns exemplos deste tipo de equipamento.

Propõe-se, neste trabalho, a estudar somente a primeira classe de equipamentos, cuja substituição, por boas razões, resolve-se chamar de " substituição não-aleatória " .

Dentro da classe de equipamentos de substituição não-aleatória serão encontrados alguns tipos de substituição :

- (A) - SUBSTITUIÇÃO ENCARADA COMO DECISÃO ENTRE ALTERNATIVAS - Neste tipo de estudo podem ser analisadas todas as alternativas tecnicamente viáveis, tais como : manter o equipamento mediante reparos e revisões; mantê-lo, adicionando uma unidade auxiliar ; substituí-lo, etc. A alternativa mais econômica será eleita pelos métodos que serão apresentados (métodos da engenharia econômica).

- (B) - SUBSTITUIÇÃO CONSIDERANDO A VIDA ÚTIL ECONÔMICA - Este é o caso de substituição de um equipamento por outro idêntico (intervalo ótimo entre reposições). O equipamento é sempre necessário no processo de fabricação e a substituição atua para reduzir os custos que se tornam mais elevados à medida que o equipamento envelhece. Serão apresentados, neste trabalho, modelos para resolver o problema da vida econômica ótima de um equipamento.
- (C) - ESTUDOS DE SUBSTITUIÇÃO QUE LEVAM EM CONTA O PROGRESSO TECNOLÓGICO - Nenhum dos tipos anteriores faz esta consideração. O progresso tecnológico faz aparecer novos equipamentos, melhores e mais eficientes, daí, surge a necessidade de, às vezes, retardarmos as substituições. Os modelos de George Terborgh ², que serão apresentados, tratarão deste tipo de problema .
- (D) - SUBSTITUIÇÃO ENCARADA COMO INVESTIMENTO QUE DEVE COMPETIR COM OS DEMAIS NA OBTENÇÃO DE RECURSOS - Neste caso deve-se escolher o melhor investimento levando em conta que os recursos para investir

²PUCCINI, Abelardo; HESS, G.; MARQUES, J.L.M.; PAES, L.C.R. - Engenharia Econômica e Análise de Investimentos, PUC, Rio de Janeiro, p. 93.

são limitados. O método de Dean ³ resolve tal problema, e será apresentado neste trabalho (Método do Capital Planejado).

2.1 - SUBSTITUIÇÃO ENCARADA COMO DECISÃO ENTRE ALTERNATIVAS.

2.1.1 - MÉTODOS DA ENGENHARIA ECONÔMICA

Serão abordados os três métodos da engenharia econômica que permitem solucionar o problema da escolha entre substituir ou conservar um equipamento.

Os três métodos são chamados de " CUSTO ANUAL EQUIVALENTE ", " VALOR ATUAL " e " TAXA INTERNA DE RETORNO ". Estes métodos permitem tratar os casos que não consideram a obsolescência do equipamento, e darão uma resposta satisfatória envolvendo o uso de juros e o conceito do valor do dinheiro em uma determinada data.

O método do " CUSTO ANUAL EQUIVALENTE " será dividido em dois outros métodos : " MÉTODO DIRETO " e " MÉTODO DA DEPRECIÇÃO LINEAR MAIS JURO MÉDIO ". O último é um método aproximado e permite resultados bastante próximos aos do método direto.

³ Grant ⁴ recomenda o uso do " método do ' DEAN, Joel - Capital Budgeting, N. York, Columbia University Press, 1951

⁴ GRANT, E.L.; IRESON, W.G. - Principles of Engineering Economy Fourth Edition, The Ronald Press, New York, 1965

custo anual equivalente " por achar que este é de mais fácil compreensão.

2.1.1.1 - MÉTODO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE

O método do custo anual equivalente compara o custo anual de recuperação do capital de cada alternativa. A alternativa que apresenta o menor custo anual de recuperação do capital será a melhor.

São considerados o custo de retorno sobre o investimento e o custo operacional de cada alternativa em particular. Quando existe valor residual do equipamento, ele é subtraído do valor de compra do equipamento, e os juros simples sobre o valor residual são adicionados ao custo anual do capital.

Duas séries de importâncias são convertidas em séries anuais equivalentes e, então, comparadas, isto é, cada parcela anual do custo do investimento é aquela necessária para a amortização do capital investido em cada alternativa. Esta conversão é feita a uma taxa de retorno utilizada conforme a política da empresa.

Uma grande vantagem do método do custo anual é que ele permite a comparação de alternativas com vidas úteis diferentes.

a - MÉTODO DIRETO

Fazendo : $FRC(i,n)$ = fator de recuperação do capital de uma série anual uniforme à taxa de

retorno i a.a. durante
 n anos.

FFA (i,n) = fator de fundo de amorti-
 zação de uma série anual
 uniforme à taxa de retor-
 no i a.a. durante n a-
 nos.

$$\text{FRC } (i,n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad \text{FFA } (i,n) = \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

CARC = CUSTO ANUAL DE RECUPERAÇÃO DO CAPITAL

C = Custo inicial ou valor de compra do e
 quipamento em Cr\$

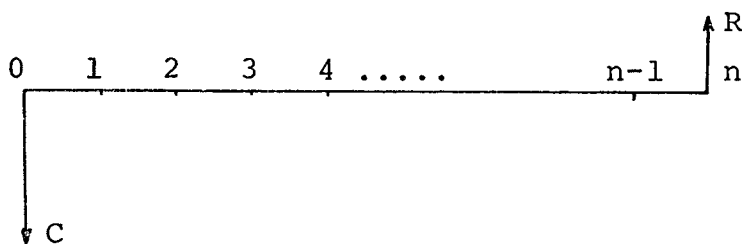
R = Valor residual ou valor de revenda do e
 quipamento em Cr\$

i = Taxa anual de retorno sobre investimen-
 tos de capital

n = Vida útil em anos.

O custo anual equivalente será encontrado da se
 guinte forma :

Seja o fluxo de caixa abaixo:



$$\text{CARC} = C \left[\text{FRC} (i, n) \right] - R \left[\text{FFA} (i, n) \right]$$

Como, pela matemática financeira, sabe-se que :

$$\text{FFA} (i, n) = \text{FRC} (i, n) - i$$

tem-se

$$\text{CARC} = C \left[\text{FRC} (i, n) \right] - R \left[\text{FRC} (i, n) - i \right]$$

ou

$$\text{CARC} = (C - R) \left[\text{FRC} (i, n) \right] + R i$$

b - MÉTODO DA DEPRECIÇÃO LINEAR MAIS JURO MÉDIO

Este método é expresso pela fórmula

$$\text{CARC} = \frac{C - R}{n} + (C - R) \left[\frac{n + 1}{n} \right] \frac{i}{2} + R i \quad (1)$$

A parcela $(C - R)/n$ corresponde à depreciação linear, que pressupõe que a depreciação seja uniforme em todos os pe ríodos. O valor remanescente do equipamento decresce linearmente de ano para ano.

A soma das outras duas parcelas da fórmula (1)

$$(C - R) \left[\frac{n + 1}{n} \right] \frac{i}{2} + R i$$

corresponde ao retorno médio sobre o valor depreciado do equipamento

to. A taxa de retorno incide sobre o valor depreciado do equipamento por causa da quantia, recuperada em operações realizadas pelo equipamento, que pode ser investida em novas aplicações. Procedimento análogo ocorre quando são cobrados juros sobre uma dívida, cujo principal se extingue gradativamente, e os juros são calculados sobre a parte remanescente da dívida e não sobre o valor inicial da quantia emprestada.

A taxa média de retorno sobre a parte depreciável do equipamento é :

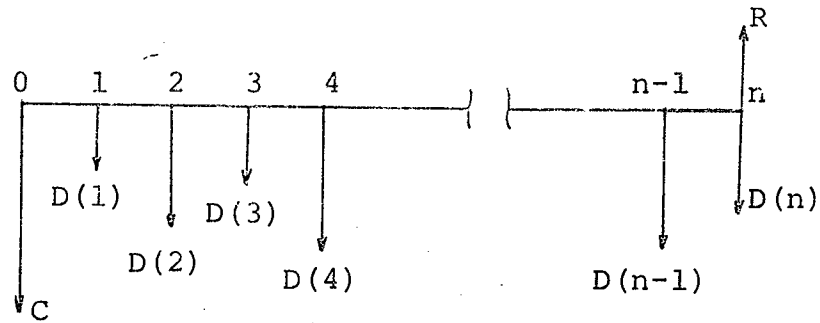
$$\left[\frac{n + 1}{n} \right] \frac{i}{2}$$

O método da depreciação linear mais juro médio não é exato como o método direto, mas fornece resultados bem próximos. A substituição, neste método, de juros anuais por juros médios resulta num erro tanto maior, quanto mais extenso for o número de períodos n e quanto maior for a taxa de retorno i .

2.1.1.2 - MÉTODO DO VALOR ATUAL

No método do valor atual ou do valor descontado, reduz-se todas as despesas e receitas existentes, em cada alternativa, ao valor presente com o uso da taxa de retorno. A melhor alternativa será aquela que possuir o menor valor atual.

Considere-se o fluxo de caixa para uma determinada alternativa



onde :

C = valor de compra ou custo inicial do equipamento, Cr\$

R = valor residual ou valor de revenda do equipamento, Cr\$

D(j), j = 1, n = despesas totais anuais com o equipamento,
pagas no fim de cada período, Cr\$

n = vida do equipamento em anos

O valor atual desta alternativa será :

$$V A = C + \sum_{j=1}^n D(j) \left[FVA' (j, i) \right] - R \left[FVA' (n, i) \right]$$

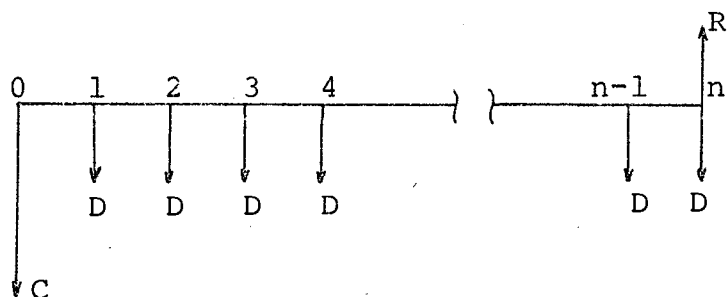
onde :

V A = valor atual da alternativa

$FVA' (i, j) = \frac{1}{(1 + i)^j}$ é o fator de valor anual para pagamento único à taxa de retorno i para o ano j , sendo j = 1, n

$FVA' (n, i) = \frac{1}{(1 + i)^n}$ é o fator de valor atual para pagamento único à taxa de retorno i para o ano n .

No caso de uma alternativa que possua os valores constantes para $D(j)$, tem-se :



Neste caso $D(j) = D$, e o valor atual da alternativa será :

$$V A = C + D \left[FVA (n,i) \right] - R \left[FVA' (n,i) \right]$$

sendo : $FVA (n,i)$ o fator de valor atual para séries uniformes à taxa de retorno i para o ano n .

$$FVA (n,i) = \frac{(1+i)^n - 1}{i (1+i)^n}$$

É importante salientar que o método do valor atual não permite a comparação entre alternativas cujas vidas úteis sejam diferentes. Quando é necessário comparar alternativas de vidas úteis diferentes, a prática usual utiliza o "mínimo múltiplo comum" dos anos de duração dos equipamentos.

O método do valor atual é exato e fornece sempre o mesmo resultado que o do custo anual equivalente - método direto. A razão disto é que ambos são baseados num mesmo sistema de cálculo de juros compostos. O valor atual distribuído sobre os n anos de vida do equipamento dá exatamente o custo anual do equipamento; e os custos anuais, por sua vez, trazidos para o momento presente, darão o valor atual da alternativa em questão.

2.1.1.3 - MÉTODO DA TAXA INTERNA DE RETORNO

No método do custo anual equivalente comparava-se duas alternativas que eram transformadas, considerando uma taxa de retorno, em séries anuais equivalentes. No método do valor atual, as alternativas eram comparadas, também, a certa taxa de retorno, e reduzidas a um único pagamento. Agora, no método da taxa interna de retorno, deve-se encontrar esta taxa de retorno que representará o retorno do investimento extra necessário a uma das alternativas, ou seja, deve-se encontrar uma taxa de retorno que iguale as duas séries de valores das alternativas. Se o retorno do investimento extra for satisfatório para a empresa, então ela decidirá fazer o investimento extra.

A taxa de retorno poderá ser encontrada através do procedimento por tentativas, utilizando-se as tabelas de juros, ou ainda por interpolação nestas tabelas.

O método da taxa interna de retorno não permite também a comparação de alternativas com vidas diferentes e, além desta desvantagem, tem o inconveniente da determinação da taxa de retorno por tentativas ou por interpolação. Muitos autores elegem o método do custo anual como o de mais fácil aplicação e compreensão para os estudos de substituição de equipamentos, uma vez que ele não apresenta o problema de comparação de alternativas com vidas diferentes.

2.2 - SUBSTITUIÇÃO CONSIDERANDO A VIDA ÚTIL ECONÔMICA

Um equipamento, à medida que envelhece, perde seu valor de forma contínua e, ao mesmo tempo, seus custos de operação e manutenção crescem, também, de forma contínua. Haverá, então, uma preocupação em determinar a época exata em que o equipamento deverá ser retirado e revendido (ver FIGURA 1), de tal maneira que o custo por unidade de tempo seja mínimo. Normalmente, utiliza-se o ano como unidade de tempo.

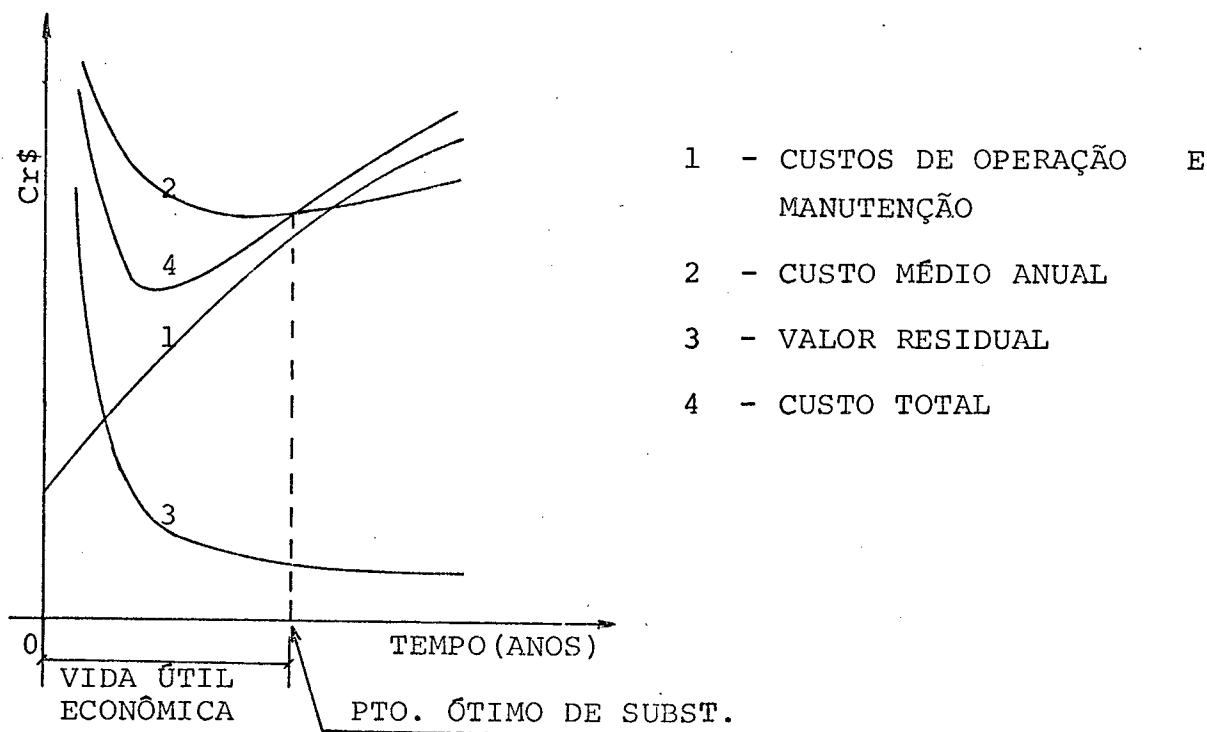


FIGURA 1 - VIDA ÚTIL ECONÔMICA DE UM EQUIPAMENTO

A época exata na qual deverá ocorrer a substituição é o que se chama de "vida útil econômica" do equipamento. Pode-se notar pelas curvas da FIGURA 1, que o ponto ótimo de substituição ou a vida útil econômica foi encontrada no ponto de mínimo da curva de custo médio anual.

Neste item do trabalho apresentar-se-ão alguns métodos para o cálculo da vida útil econômica dos equipamentos. Serão apresentados, também, programas de computador digital IBM-1130, os quais terão a finalidade de facilitar a determinação da vida econômica ótima através destes métodos.

2.2.1 - VIDA ÚTIL ECONÔMICA PELO MÉTODO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE UNIFORME

A vida econômica ótima de um equipamento poderá ser obtida pelo método do custo anual equivalente uniforme. Aqui a vida econômica é definida como sendo a vida de serviço igual ou menor do que a vida física, a qual minimiza o custo anual equivalente uniforme.

A determinação da vida útil econômica é de grande importância para as indústrias que possuem certo número de equipamentos idênticos, como, por exemplo, caminhões, motores elétricos, máquinas de costura, máquinas operatrizes, etc.

Pode-se determinar os custos anuais equivalentes uniformes (CAEU), para todas as possíveis vidas de serviço, utilizando repetidamente a equação :

$$CAEU (n) = \left[(C - R) \cdot FRC (i - n) \right] + A \quad (2)$$

onde :

C = custo inicial.

R = valor residual no ano n

$FRC (i - n)$ = fator de recuperação do capital de uma série uniforme à taxa de juros compostos i durante n anos.

i = taxa de juros

n = vida de serviço do equipamento

A = custos operacionais mais custos de manutenção.

O uso repetido da equação (2) leva a utilização da forma tabular para encaminhar os cálculos do CAEU em cada ano da vida útil do equipamento. Para tanto e, melhor entender o emprego do método, usar-se-á o seguinte exemplo: determinada empresa está utilizando grande número de veículos idênticos para transportar mercadorias. O custo inicial de cada um destes veículos é de Cr\$ 20.000,00 e seus custos de manutenção anuais bem como seus valores residuais no fim de cada ano estão apresentados no QUADRO 1. O custo do dinheiro é de 10% a.a.

Os custos anuais equivalentes uniformes em cada ano são apresentados no QUADRO 2. A vida econômica ótima se acha no ano em que foi mais baixo o custo anual do dinheiro, ajustado ao tempo, combinado com os custos de manutenção.

No QUADRO 2 tem-se :

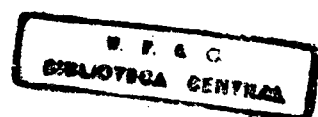
$n = 1, 2, 3, \dots$ = vida de serviço

$CM (n)$ = custos de manutenção correspondentes ao ano n

$VR (n)$ = valor residual do equipamento no fim do ano n

C = custo inicial do equipamento

$FRC (i, n)$ = fator de recuperação do capital



FVAPU (i,n) = fator de valor atual pagamento único

ANO	CUSTOS DE MANUTENÇÃO		VALOR RESIDUAL	
n	CM (n)	(Cr\$)	VR(n)	(Cr\$)
1	6.000		15.000	
2	6.500		12.000	
3	7.100		10.000	
4	7.700		8.500	
5	8.400		7.000	
6	9.300		6.000	
7	10.400		5.000	
8	11.600		4.500	
9	12.900		4.000	
10	14.300		3.500	

QUADRO 1 - Custos de manutenção e valores residuais para um veículo de transporte. Estes valores são hipotéticos e usados para mostrar a aplicação do método do custo anual equivalente.

ANO	CM(n) Cr\$ (1)	VR(n) Cr\$ (2)	C-VR(n) Cr\$ (3)	FRC(i,n) (4)	(3) x (4) Cr\$ (5)	VR(n) xi Cr\$ (6)	(5) + (6) Cr\$ (7)	FVAPU (i,n) (8)	(1) x (8) Cr\$ (9)	\sum (9) Cr\$ (10)	(10) x (4) Cr\$ (11)	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE UNIFORME (11) + (7) Cr\$
1	6000	15000	5000	1,1000	5500,00	1500	7000,00	0,9091	5454,60	5454,60	6000,06	13000,06
2	6500	12000	8000	0,5761	4609,52	1200	5809,52	0,8264	5371,60	10826,20	6237,95	12047,47
3	7100	10000	10000	0,4021	4021,10	1000	5021,10	0,7513	5334,23	16160,43	6498,27	11519,37
4	7700	8500	11500	0,3154	3627,90	850	4477,90	0,6830	5259,10	21419,53	6757,22	11235,12
5	8400	7000	13000	0,2638	3429,40	700	4129,40	0,6209	5215,56	26635,09	7026,34	11155,74
*6	9300	6000	14000	0,2296	3214,54	600	3814,54	0,5645	5249,85	31884,94	7321,10	11135,64
7	10400	5000	15000	0,2054	3081,15	500	3581,15	0,5132	5337,28	37222,22	7645,82	11226,97
8	11600	4500	15500	0,1874	2905,32	450	3355,32	0,4665	5411,40	42633,62	7991,25	11346,57
9	12900	4000	16000	0,1736	2778,24	400	3178,24	0,4241	5470,89	48104,51	8352,87	11531,11
10	14300	3500	16500	0,1627	2685,38	350	3035,38	0,3855	5512,65	53617,16	8726,19	11761,57

QUADRO 2 - FORMA TABULAR PARA O CÁLCULO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA

PELO MÉTODO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE UNIFORME PA

RA UM ATIVO COM $C = \text{Cr\$ } 20.000,00$ e $i = 10 \%$

* $n = 6$ - Vida útil econômica onde ocorre o menor

CAEU

Pelo exemplo pode-se observar que a vida econômica ótima do equipamento, cujos dados constam do QUADRO 1, é de seis anos, onde ocorre o mínimo custo anual equivalente uniforme.

Muitas vezes, na prática, utiliza-se um processo de cálculo mais simplificado, o qual não leva em consideração os fatores " i ", " $FRC(i,n)$ " e " $FVAPU(i,n)$ ". Neste processo simplificado é obtido um custo médio anual através da soma dos custos acumulados de manutenção e depreciação divididos pelo número de anos transcorridos. Porém esta prática é incorreta e leva a resultados falsos.

De maneira geral os custos de manutenção crescentes contrabalançam o custo médio anual do capital que se distribui no período de vida útil do equipamento. Quanto mais longa for a vida de um equipamento, tanto mais baixo será o custo médio anual do capital, pelo fato do desembolso distribuir-se num período de tempo maior.

A seguir apresentar-se-á um programa, na linguagem FORTRAN IV, para o computador digital IBM-1130, que calcula os custos anuais equivalentes uniformes. Uma simples observação destes custos e a escolha do menor deles indica a vida econômica ótima na qual ocorreu este custo.

VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PROGRAMA :

- R(I) - valor residual, $I = 2, N$
- CO(I) - custo de manutenção
- FRC (I) - fator recuperação do capital a taxa TR no ano
(I - 1)
- FVAPU(I) - fator de valor atual pagamento único a taxa
TR no ano (I - 1)

CAE (I) - custo anual equivalente
N - número de períodos mais uma unidade
K(I)=I-1 - período
TR - taxa de retorno
CI - custo inicial
I - índice, I = 2, N

DADOS UTILIZADOS: os mesmos do exemplo anterior ,
cujos valores constam no QUA-
DRO 1.

PROGRAMA PARA CALCULAR OS CUSTOS ANUAIS EQUIVALENTES UNIFORMES.

Os dados constam no QUADRO 1 .

```

// JOB T
// FOR
*IOCS(CARD,1132PRINTER)
*EXTENDED PRECISION
*LIST SOURCE PROGRAM
C   CALCULO DA VIDA UTIL ECONOMICA PELO
C   CUSTO ANUAL EQUIVALENTE UNIFORME
DIMENSION R(10),CO(10),FRC(10),A(10),B(10),C(10),D(10),FVAPU(10),E
1(10),Y(10),CAE(10),K(10)
READ(2,10)N,TR,CI
10 FORMAT(I3,F5.2,F13.2)
READ(2,20)(R(I),I=2,N)
20 FORMAT(10F8.2)
READ(2,20)(CO(I),I=2,N)
E(1)=0
DO 30 I=2,N
K(I)=I-1
FRC(I)=TR*(1.+TR)**(I-1)/((1.+TR)**(I-1)-1.)
A(I)=CI-R(I)
B(I)=FRC(I)*A(I)
C(I)=R(I)*TR
D(I)=B(I)+C(I)

```

```
FVAPU(I)=1./(1.+TR)**(I-1)
E(I)=E(I-1)+CO(I)*FVAPU(I)
Y(I)=E(I)*FRC(I)
30 CAE(I)=Y(I)+D(I)
   WRITE(3,35)
35 FORMAT(1H1,1X,'ANO',1X,'VAL RESIDUAL',3X,'CUSTO OPERAC',2X,'FATOR
2REC',2X,'FATOR VALOR ATUAL',2X,'CUSTO ANUAL EQUIVALENTE')
   WRITE(3,40)
40 FORMAT(5X,'NO FIM DO ANO',17X,'CAPITAL',4X,'PAGAMENTO UNICO',10X,'
3UNIFORME')
   WRITE(3,45)(K(I),R(I),CO(I),FRC(I),FVAPU(I),CAE(I),I=2,N)
45 FORMAT(2X,I2,1X,F10.2,5X,F10.2,6X,F7.5,8X,F7.5,13X,F10.3)
   CALL EXIT
   END
// XEQ
```

R E S U L T A D O O B T I D O

ANO	VAL RESIDUAL NO FIM DO ANO	CUSTO OPERAC	FATOR REC CAPITAL	FATOR VALOR ATUAL PAGAMENTO UNICO	CUSTO ANUAL EQUIVALENTE UNIFORME
1	15000.00	6000.00	1.10000	0.90909	13000.000
2	12000.00	6500.00	0.57619	0.82644	12047.619
3	10000.00	7100.00	0.40211	0.75131	11519.637
4	8500.00	7700.00	0.31547	0.68301	11235.294
5	7000.00	8400.00	0.26379	0.62092	11155.804
6	6000.00	9300.00	0.22960	0.56447	11135.610
7	5000.00	10400.00	0.20540	0.51315	11226.722
8	4500.00	11600.00	0.18744	0.46650	11346.807
9	4000.00	12900.00	0.17364	0.42409	11531.143
10	3500.00	14300.00	0.16274	0.38554	11761.347

2.2.2 - MODELO DE SUBSTITUIÇÃO BASEADO NA MAXIMIZAÇÃO DO LUCRO

A utilização do equipamento no processo produtivo de bens incorre em gastos de operação e manutenção. Por outro lado a venda dos bens aos consumidores dá certa receita num intervalo de tempo. A diferença entre a receita e os gastos de operação e manutenção do equipamento dá o retorno do investimento naquela época antes da dedução dos custos do capital e da depreciação. Muitos autores chamam esta diferença de "quase-renda" do equipamento.

Pode-se construir um modelo de substituição, para encontrar a vida útil econômica de um equipamento, baseado no lucro obtido pela utilização deste equipamento.

Considere-se que $R(t)$ é uma função que fornece a receita num tempo t devido a utilização de um determinado equipamento e que $D(t)$ é a função despesas de operação e manutenção (ela inclui todas as despesas com exceção da depreciação e dos juros sobre o investimento, uma vez que estes gastos ocorrem mesmo com o equipamento parado) necessários para produzir a receita $R(t)$. Deste modo pode-se dizer que o valor atual do lucro é, utilizando o regime contínuo de capitalização :

$$V = \int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt + S(T) e^{-rT} - C \quad (3)$$

onde :

- V = valor atual do lucro, Cr\$
 C = custo inicial do equipamento, Cr\$
 T = vida do equipamento em anos
 $S(T)$ = valor residual do equipamento no tempo T , Cr\$
 e = 2,71828 (base dos logaritmos naturais)
 r = taxa anual de juros ou taxa de retorno

O uso do regime contínuo em troca do regime descontínuo (discreto) tem como principal razão a grande conveniência oferecida pela integração. Além disso, fluxos de receitas e despesas são contínuos, não discretos. Os bancos utilizam o processo descontínuo.

O período usado pode ser qualquer, desde que apropriado, entretanto o ano e as taxas anuais são os mais utilizados e facilmente entendidos.

A vida econômica ótima T do equipamento, poderá ser obtida igualando-se a zero a primeira derivada em relação a T da equação (3), ou seja :

$$\frac{dV}{dT} = \left[R(t) - D(t) \right] e^{-rT} - rS(T)e^{-rT} + S'(T)e^{-rT}$$

$$\left[R(t) - D(t) \right] e^{-rT} - rS(T)e^{-rT} + S'(T)e^{-rT} = 0$$

ou, dividindo por e^{-rT} , obtêm-se :

$$R(t) - D(t) = rS(T) - S'(T) \quad (4)$$

onde $S'(T)$ é a primeira derivada de $S(T)$ em relação a T .

A equação (4.) resolvida para T dá o ponto ótimo de substituição ou a vida econômica ótima que maximiza o valor do lucro V .

A equação (3) pode ser convertida para uma forma discreta, mas isto acarreta uma pequena perda na precisão do resultado obtido, razão pela qual deixa-se de apresentá-la neste item, dedicando o item 2.2.4 para estes casos.

O modelo acima representado pelas equações (3) e (4.), permite que a vida econômica ótima (T) seja determinada. Após o término do período T , a máquina é retirada do processo de produção e substituída por outra que poderá ou não ser do mesmo tipo. Uma situação mais geral é aquela na qual uma indústria está interessada na fabricação de determinado tipo de produto por tempo indeterminado, então pode-se assumir que uma máquina será substituída por outra idêntica, após a extinção de sua vida útil econômica (T). A segunda, por sua vez, será também substituída após o período T e assim indefinidamente. Deve-se, desta forma, considerar uma cadeia ou série de aquisição de equipamentos. Neste caso, tem-se :

para o primeiro período :

$$V(1) = \int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT}$$

para o segundo período :

$$V(2) = \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] e^{-rT}$$

para o terceiro período :

$$V(3) = \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] e^{-2rT}$$

$$\vdots$$

$$V(n) = \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] e^{-(n-1)rT}$$

$$\text{Mas } V = V(1) + V(2) + V(3) + \dots + V(n)$$

Substituindo $V(1)$, $V(2)$, $V(3)$, ..., $V(n)$, por seus respectivos valores :

$$V = \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] (1 + e^{-rT} + e^{-2rT} + \dots + e^{-(n-1)rT})$$

mas 1 , e^{-rT} , e^{-2rT} , ..., $e^{-(n-1)rT}$ são os termos de uma progressão geométrica de razão e^{-rT} , e a soma dos termos desta progressão⁵ é :

$$1 + e^{-rT} + e^{-2rT} + \dots + e^{-(n-1)rT} = \frac{1}{1 - e^{-rT}}$$

então :

$$V = \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] \frac{1}{1 - e^{-rT}} \quad (5)$$

⁵ SAMUEL, M. Selby - Standard Mathematical Tables, The Chemical Rubber Co., Ohio, 1969, p. 103 .

A equação (5) define o lucro obtido pela utilização dos equipamentos quando estes constituem uma série infinita de substituições as quais ocorrem a cada período de tempo T .

Para achar o valor de T em (5) que maximiza o valor de V , deve-se derivar a expressão de V em relação a T , igualar a zero e resolver esta equação para T , ou seja:

$$\frac{dV}{dT} = \left[\left[R(t) - D(t) \right] e^{-rt} - rS(T)e^{-rT} + S'(T)e^{-rT} \right] \frac{1}{1 - e^{-rT}} - \frac{re^{-rT}}{(1 - e^{-rT})^2} \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] = 0$$

simplificando e^{-rT} , obtém-se:

$$\left[R(T) - D(T) - rS(T) + S'(T) \right] \frac{1}{1 - e^{-rT}} = + \frac{r}{(1 - e^{-rT})^2} \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] = 0$$

ou

$$R(T) - D(T) = rS(T) - S'(T) + \frac{r}{1 - e^{-rT}} \left[\int_0^T [R(t) - D(t)] e^{-rt} dt - C + S(T)e^{-rT} \right] \quad (6)$$

A equação (6) indica que cada máquina, da série

de substituições, deverá ser mantida em uso até o momento em que a diferença entre a receita do período e os gastos de manutenção e operação ocorridos neste mesmo período, iguale os juros sobre o valor residual no fim de T menos a derivada primeira de $S(T)$ e mais o juro sobre o valor atual de todos os futuros ganhos das máquinas na cadeia.

2.2.3 - MODELO DE SUBSTITUIÇÃO UTILIZANDO A EQUAÇÃO DE CUSTOS NA FORMA CONTÍNUA

A maximização de V , no modelo anterior, para possibilitar a determinação da vida econômica ótima, apresenta certas dificuldades, pois envolve o conhecimento de uma função receita, de uma função despesas, ou uma função equivalente às duas primeiras. Envolve ainda o conhecimento do valor residual para todas as idades da máquina, de uma taxa de retorno, etc.

Se num processo produtivo entram várias operações efetuadas por máquinas diferentes, o problema da determinação da função receita torna-se complicado, uma vez que se deve saber que contribuição cada máquina fornece para a formação da receita.

Já a função despesas é, na maioria dos casos, mais fácil de ser determinada. Os registros do departamento de contabilidade de custos podem fornecer os custos de operação e manutenção. Estas informações, de acordo com a organização da empresa, poderão também ser obtidas no departamento de manutenção. Outras informações necessárias poderão ser obtidas nos fabricantes dos equipamentos e nas empresas que tenham tido experiência usando o

mesmo tipo de equipamento.

A determinação do valor residual para as idades do equipamento é um problema que envolve estimativas. Contudo, o conhecimento do mercado de equipamentos usados do tipo em questão poderá dar uma boa aproximação destes valores.

A taxa de retorno apresenta problemas abordados no item 3.1 deste trabalho.

Devido ao fato de existirem certas dificuldades na determinação da função receita, introduz-se agora, algumas modificações no modelo anterior, para contornar estas dificuldades. O problema agora se torna a minimização de uma equação de custos.

Utilizando novamente o regime contínuo, a equação de custos para uma empresa cujo futuro está limitado à aquisição e uso de uma simples máquina, será :

$$U = \left[C - S(T)e^{-rT} \right] + \int_0^T D(t)e^{-rt} dt \quad (7)$$

A primeira derivada de (7) em relação a T , igualada a zero fornecerá o valor de T que torna mínimo o custo. Este T é a vida econômica ótima do equipamento.

O caso mais usual, ou seja, o caso de análise de uma série infinita de substituições, será:

$$U = \left[\left[C - S(T)e^{-rT} \right] + \int_0^T D(t)e^{-rt} dt \right] (1 + e^{-rT} + e^{-2rT} + \dots)$$

$$\text{mas } (1 + e^{-rT} + e^{-2rT} + \dots) = \frac{1}{1 - e^{-rT}}$$

então, o custo U será :

$$U = \left[(C - S(T)e^{-rT}) + \int_0^T D(t)e^{-rt} dt \right] \frac{1}{1 - e^{-rT}} \quad (8)$$

A condição de mínimo será encontrada para :

$$\frac{dU}{dT} = 0 = \left[rS(T)e^{-rT} - S'(T)e^{-rT} + D(T)e^{-rT} \right] \frac{1}{1 - e^{-rT}} - \left[(C - S(T)e^{-rT}) + \int_0^T D(t)e^{-rt} dt \right] \frac{re^{-rT}}{(1 - e^{-rT})^2}$$

simplificando e^{-rT} , ter-se-á :

$$\left[rS(T) - S'(T) + D(T) \right] \frac{1}{1 - e^{-rT}} - \left[(C - S(T)e^{-rT}) + \int_0^T D(t)e^{-rt} dt \right] \frac{r}{(1 - e^{-rT})^2}$$

ou finalmente :

$$D(T) + rS(T) - S'(T) =$$

$$\left[(C - S(T)e^{-rT}) + \int_0^T D(t)e^{-rt} dt \right] \frac{r}{1 - e^{-rT}} \quad (9)$$

Suponha-se para simplicidade de apresentação, que a função $D(t)$ tem a forma linear $D(t) = D + Gt$, onde D e G são

constantes, sendo G a taxa anual de acréscimo nas despesas de operação e manutenção. A linearização da $D(t)$ poderá ocorrer em muitos casos reais. Faz-se, também, com que a função $S(t)$ assuma a expressão $S(t) = Ce^{-LT}$, onde C é o custo inicial do equipamento e L é uma constante. No gráfico da figura 2 são traçadas as curvas de $S(t) = Ce^{-LT}$ para $L = 0,250$, $L = 0,091$ e $L = 0,033$

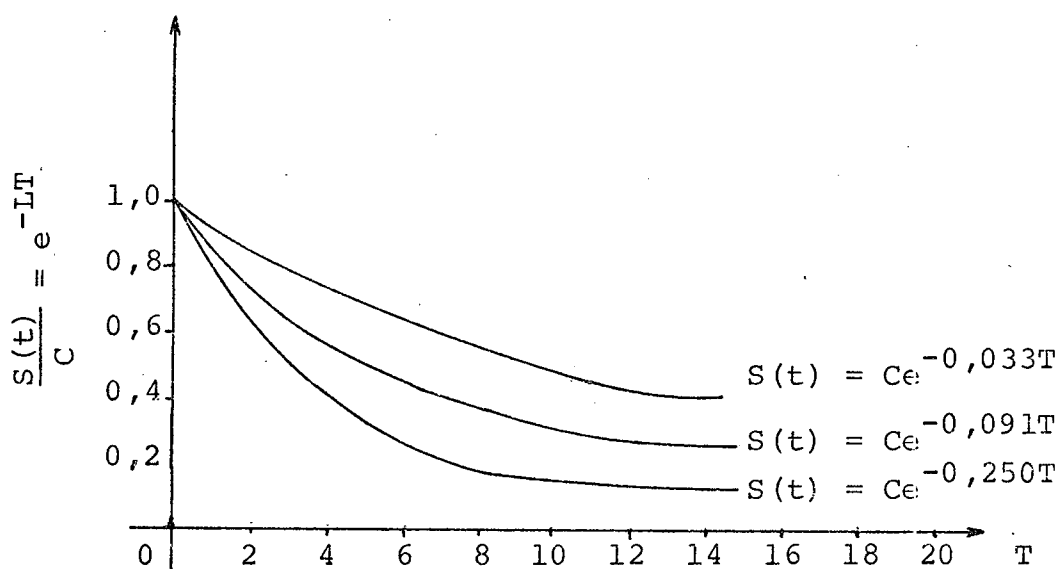


FIGURA 2 - GRÁFICO DAS CURVAS $S(t) = Ce^{-LT}$
PARA $L = 0,250$, $L = 0,091$ e $L = 0,033$

Com as suposições, feitas anteriormente, a equação (9.) torna-se :

$$D + GT + rCe^{-LT} - S'(T) =$$

$$= \frac{r}{1 - e^{-rT}} \left[C - Ce^{-LT} e^{-rT} + \int_0^T (D + Gt)e^{-rt} dt \right]$$

ou

$$D + GT + rCe^{-LT} + LCe^{-LT} =$$

$$= \frac{r}{1 - e^{-rT}} \left[C - Ce^{-LT} e^{-rT} + \int_0^T (D + Gt)e^{-rt} dt \right]$$

ou

$$1 - e^{-rT} (D + GT + rCe^{-LT} + LCe^{-LT}) =$$

$$= r \left[C - Ce^{(-LT-rT)} + \int_0^T (D + Gt)e^{-rt} dt \right]$$

Resolvendo a integral $\int_0^T (D + Gt)e^{-rt} dt$, obtém-se :

se :

$$1 - e^{-rT} (D + GT - rCe^{-LT} + LCe^{-LT}) =$$

$$r \left[C - Ce^{(-LT-rT)} + D \left[\frac{1 - e^{-rT}}{r} \right] + G \left[\frac{1 - e^{-rT} - rTe^{-rT}}{r^2} \right] \right]$$

ou

$$1 - e^{-rT} (D + GT + rCe^{-LT} + LCe^{-LT}) =$$

$$= rC \left[1 - e^{(-LT-rT)} \right] + D \left[1 - e^{-rT} \right] + G \left[\frac{1 - e^{-rT} - rTe^{-rT}}{r} \right]$$

ou

$$D + GT + rCe^{-LT} + LCe^{-LT} - De^{-rT} - GTe^{-rT} - rCe^{(-LT-rT)} +$$

$$+ LCe^{(-LT-rT)} = rC - rCe^{(-LT-rT)} + D - De^{-rT} + \frac{G}{r} -$$

$$- \frac{Ge^{-rT}}{r} - GTe^{-rT}$$

Simplificando os termos semelhantes, tem-se :

$$GT + rCe^{-LT} + LCe^{-LT} - LCe^{(-LT-rT)} = rC + \frac{G}{r} - \frac{Ge^{-rT}}{r}$$

ou

$$T = \frac{C}{G} \left[r - (r+L)e^{-LT} - Le^{(-LT-rT)} \right] + \frac{1}{r} \left[1 - e^{-rT} \right] \quad (10)$$

Apresenta-se a seguir um programa de computador em FORTRAN IV para o IBM 1130, para resolver a equação (10) em relação a T, pelo método de iterações.

Como exemplo, tomou-se um equipamento com os seguintes dados :

$$C = 20.000$$

$$G = 500$$

$$r = 20\% \text{ a.a.}$$

$$L = 0,25$$

Obteve-se uma vida útil econômica $T = 7,201$ anos , com um erro de aproximação de 10^{-9} e partindo-se de um valor inicial de 5 anos para T .

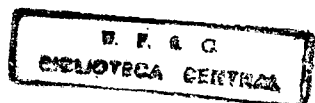
PROGRAMA PARA O CÁLCULO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA PELA EQUAÇÃO

DE CUSTOS - MÉTODO DE ITERAÇÕES

```
// JOB T
// FOR
*IOCS (CARD,1132PRINTER)
*EXTENDED PRECISION
*LIST SOURCE PROGRAM
C   CALCULO DA VIDA UTIL ECONOMICA
C   PELA EQUAÇÃO DE CUSTOS
C   METODO DE ITERACOES
      FUNC (C,G,R,XL,T) = (C/G) * (R - (R+XL) * EXP (-XL*T) + XL * EXP (-XL*T-R*T)) + (1 /
1R) * (1-EXP (-R*T))
      WRITE (3,35)
35  FORMAT (24X, 'VIDA UTIL ECONOMICA', 3X, 'ITERACOES DO PROGRAMA')
      READ (2,10) C,G,R,XL,TO,ERRO,M
10  FORMAT (F 10.3,F8.3,F4.2,F5.3,F5.2,F10.9,I2)
      T=T0
      DO20I=1,M
      ITER=I
      Z=FUNC(C,G,R,XL,T)
      IF (ABS (Z-T) -ERRO) 15,15,20
20  T=Z
      WRITE (3,25)
25  FORMAT ('NAO CONVERGE EM 50 ITERACOES')
```

15 WRITE (3, 30) Z, ITER
30 FORMAT (15X, F20.3, 20X, I2)
CALL EXIT
END
// XEQ

VIDA UTIL ECONOMICA ITERACOES DO PROGRAMA
7.201 38



2.2.4 - MODELO DE SUBSTITUIÇÃO UTILIZANDO A EQUAÇÃO DE CUSTOS NA FORMA DISCRETA

Este modelo utiliza uma equação de custos na forma discreta. A obtenção do ponto ótimo de substituição, é feita através de uma regra prática que utiliza a média ponderada dos custos.

Sejam :

- 1,2,3 ... - uma série de períodos de tempos iguais;
- D(1), D(2), D(3), ... - custos de operação e manutenção do equipamento, que ocorrem nos períodos 1,2,3, ..., respectivamente ;
- C - custo de aquisição ou custo inicial do equipamento;
- r - taxa de retorno utilizada pela empresa;
- R - valor de mercado do equipamento usado, no fim de cada período.

Considere-se :

- que $D(1) < D(2) < D(3) < \dots$
- que os custos D(1), D(2), D(3), ... são pagos no fim do período no qual ele ocorre

Se a empresa adotar a política de substituir sis

tematicamente após o término de n períodos, o valor presente do custo total futuro, associado a esta política, após infinitas substituições, será :

$$U(n) = \left[C - \frac{R}{(1+r)^n} + \frac{D(1)}{1+r} + \frac{D(2)}{(1+r)^2} + \dots + \frac{D(n)}{(1+r)^n} \right] +$$

$$+ \left[\frac{C}{(1+r)^n} - \frac{R}{(1+r)^{2n}} + \frac{D(1)}{(1+r)^{n+1}} + \frac{D(2)}{(1+r)^{n+2}} + \dots + \frac{D(n)}{(1+r)^{2n}} \right]$$

$$+ \dots$$

ou

$$U(n) = \left[C - \frac{R}{(1+r)^n} + \sum_{i=1}^n \frac{D(i)}{(1+r)^i} \right] +$$

$$+ \frac{1}{(1+r)^n} \left[C - \frac{R}{(1+r)^n} + \sum_{i=1}^n \frac{D(i)}{(1+r)^i} \right] +$$

$$+ \frac{1}{(1+r)^{2n}} \left[C - \frac{R}{(1+r)^n} + \sum_{i=1}^n \frac{D(i)}{(1+r)^i} \right] + \dots$$

ou

$$U(n) = \left[C - \frac{R}{(1+r)^n} + \sum_{i=1}^n \frac{D(i)}{(1+r)^i} \right] \cdot \left[1 + \frac{1}{(1+r)^n} + \frac{1}{(1+r)^{2n}} + \dots \right]$$

mas $1 + \frac{1}{(1+r)^n} + \frac{1}{(1+r)^{2n}} + \dots$ é uma série geométrica con

vergente, cuja soma dos termos é $\frac{1}{1 - \left[\frac{1}{1+r} \right]^n}$

então :

$$U(n) = \frac{C - \frac{R}{(1+r)^n} + \sum_{i=1}^n \frac{D(i)}{(1+r)^i}}{1 - \frac{1}{(1+r)^n}} \quad (11)$$

$U(n)$ calculada pela equação (11) é a quantia em dinheiro requerida agora para pagar todos os custos futuros de adquirir e operar o equipamento, quando substituído a cada n anos. Não é sugerido que alguma empresa constitua um fundo deste tamanho. Entretanto, se $U(n)$ é menor do que $U(n+1)$, então substituir o equipamento cada n anos é preferível a $n+1$ anos. Além disso, se a melhor política é substituir cada n anos as desigualdades

$$U(n+1) - U(n) > 0 \quad \text{e} \quad U(n+1) - U(n) > 0$$

precisam manter-se.

Mostrar-se-á que :

$U(n+1) - U(n) > 0$ é equivalente a :

$$\frac{D(n+1) \cdot \left[\frac{1}{1+r} \right]}{1 - \left[\frac{1}{1+r} \right]} > U(n)$$

para tanto, faça-se $X = \frac{1}{1+r}$

então :

$$U(n) = \frac{C - RX + \sum_{i=1}^n D(i) X^i}{1 - X^n} \quad (12)$$

substituindo n por $n + 1$ em (12), ter-se-á :

$$U(n+1) = \frac{C - RX + \sum_{i=1}^n D(i) X^i}{1 - X^{n+1}} = \frac{C - RX + \sum_{i=1}^n D(i) X^i + D(n+1) X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

ou

$$U(n+1) = \frac{C - RX + \sum_{i=1}^n D(i) X^i}{1 - X^{n+1}} \cdot \frac{1 - X^n}{1 - X^n} + \frac{D(n+1) X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

ou

$$U(n+1) = \frac{C - RX + \sum_{i=1}^n D(i) X^i}{1 - X^n} \cdot \frac{1 - X^n}{1 - X^{n+1}} + \frac{D(n+1) X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

Mas :

$$\frac{C - RX + \sum_{i=1}^n D(i) X^i}{1 - X^n} = U(n)$$

Então :

$$U(n+1) = \frac{1 - X^n}{1 - X^{n+1}} \cdot U(n) + \frac{D(n+1) \cdot X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

Então :

$$U(n+1) - U(n) = \left[\frac{1 - X^n}{1 - X^{n+1}} \cdot U(n) + \frac{D(n+1) \cdot X^{n+1}}{1 - X^{n+1}} \right] - U(n)$$

ou

$$U(n+1) - U(n) = U(n) \cdot \left[\frac{1 - X^n}{1 - X^{n+1}} - 1 \right] + \frac{D(n+1) \cdot X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

ou

$$U(n+1) - U(n) = U(n) \left[\frac{(1 - X^n) - (1 - X^{n+1})}{1 - X^{n+1}} \right] + \frac{D(n+1) \cdot X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

ou

$$U(n+1) - U(n) = \frac{U(n) \cdot [X^{n+1} - X^n] + D(n+1) \cdot X^{n+1}}{1 - X^{n+1}} \quad (13)$$

Mas se $U(n+1) - U(n) > 0$, então

$$\left[U(n) [X^{n+1} - X^n] + D(n+1) \cdot X^{n+1} \right] > 0 \quad (14)$$

desde que $X = \frac{1}{1+r} < 1$ ou, $(1 - X^{n+1}) > 0$

Dividindo a desigualdade (14) por X^n , obtém-se :

$$U(n) \cdot [X - 1] + D(n+1) \cdot X > 0$$

ou

$$D(n+1) \cdot X > (1 - X) \cdot U(n)$$

ou

$$\frac{D(n+1) \cdot X}{1 - X} > U(n)$$

substituindo X por seu valor original $1/(1+r)$, ter-se-á finalmente :

$$\frac{D(n+1) \left[\frac{1}{1+r} \right]}{1 - \left[\frac{1}{1+r} \right]} > U(n) \quad (15)$$

Mostrar-se-á, agora, que

$U(n-1) - U(n) > 0$ é equivalente a

$$\frac{D(n)}{1 - \left[\frac{1}{1+r} \right]} < U(n-1)$$

Da equação (13), a diferença $U(n) - U(n+1)$, será :

$$U(n) - U(n+1) = \frac{U(n) \cdot [X^n - X^{n+1}] - D(n+1) \cdot X^{n+1}}{1 - X^{n+1}}$$

substituindo n por $n-1$ na fórmula anterior, obtém-se :

$$U(n-1) - U(n) = \frac{U(n-1) \cdot [X^{n-1} - X^n] - D(n) \cdot X^n}{1 - X^n}$$

mas, se $U(n-1) - U(n) > 0$, ter-se-á :

$$U(n-1) \cdot \left[X^{n-1} - X^n \right] - D(n) \cdot X^n > 0$$

Desde que $X < 1$, pode-se dividir a expressão anterior por X^{n-1} , então :

$$U(n-1) \cdot \left[1 - X \right] - D(n) \cdot X > 0$$

ou

$$\frac{D(n) \cdot X}{1 - X} < U(n-1)$$

substituindo X por $\frac{1}{1+r}$, obtêm-se finalmente :

$$\frac{D(n) \cdot \left[\frac{1}{1+r} \right]}{1 - \left[\frac{1}{1+r} \right]} < U(n-1) \quad (16)$$

As desigualdades (15) e (16) precisam manter-se para que o custo $U(n)$ seja mínimo.

Considere-se inicialmente a desigualdade (16)

$$\frac{D(n) \cdot \left[\frac{1}{1+r} \right]}{1 - \left[\frac{1}{1+r} \right]} < U(n-1)$$

ou

$$\frac{D(n) X}{1 - X} < U(n-1)$$

ou

$$D(n) X < U(n-1) \cdot (1 - X)$$

ou

$$D(n) < \frac{U(n-1) \cdot (1 - X)}{X}$$

Substituindo $U(n-1)$ na expressão acima, pelo seu valor, tem-se :

$$D(n) < \left[\frac{c - RX^{n-1} + \sum_{i=1}^{n-1} D(i) X^i}{1 - X^{n-1}} \right] \cdot \frac{1 - X}{X}$$

$$D(n) < \frac{C - RX^{n-1} + D(1) \cdot X + D(2) \cdot X^2 + \dots + D(n-1) \cdot X^{n-1}}{\left[\frac{1 - X^{n-1}}{1 - X} \right]} \cdot X$$

Efetuada a divisão $(1 - X^{n-1})/(1 - X)$, tem-se :

$$D(n) < \frac{C - R \cdot X^{n-1} + D(1) \cdot X + D(2) \cdot X^2 + \dots + D(n-1) \cdot X^{n-1}}{(1 + X + X^2 + X^3 + \dots + X^{n-2}) X}$$

$$D(n) < \frac{C - R \cdot X^{n-1} + D(1) \cdot X + D(2) \cdot X^2 + \dots + D(n-1) \cdot X^{n-1}}{X + X^2 + X^3 + X^4 + \dots + X^{n-1}}$$

(17)

A expressão (17) é a média ponderada de todos os custos futuros, incluindo o período $(n-1)$. Os pesos $X, X^2, X^3, \dots, X^{n-1}$ são os fatores de valor atual aplicados aos custos em cada período.

Tomando agora a outra desigualdade, ou seja, a de
 sigualdade (15), tem-se :

$$\frac{D(n+1).X}{1 - X} > U(n)$$

ou

$$D(n+1).X > U(n) \cdot (1 - X)$$

$$D(n+1) > \frac{U(n) \cdot (1 - X)}{X}$$

Substituindo $U(n)$ por seu valor (equação 11), ob
 têm-se

$$D(n+1) > \left[\frac{C - RX^n + \sum_{i=1}^n D(i).X^i}{1 - X^n} \right] \cdot \frac{1 - X}{X}$$

$$D(n+1) > \left[\frac{C - RX^n + D(1).X + D(2).X^2 + D(3).X^3 + \dots + D(n).X^n}{1 - X^n} \right]$$

$$\cdot \frac{1 - X}{X}$$

$$D(n+1) > \frac{C - R.X^n + D(1).X + D(2).X^2 + D(3).X^3 + \dots + D(n).X^n}{\left[\frac{1 - X^n}{1 - X} \right] \cdot X}$$

Efetuando a divisão $(1 - X^n)/(1 - X)$, resultará:

$$D(n+1) > \frac{C - R \cdot X^n + D(1) \cdot X + D(2) \cdot X^2 + D(3) \cdot X^3 + \dots + D(n) \cdot X^n}{(1 + X + X^2 + X^3 + \dots + X^{n-1}) X}$$

finalmente :

$$D(n+1) > \frac{C - R \cdot X^n + D(1) \cdot X + D(2) \cdot X^2 + D(3) \cdot X^3 + \dots + D(n) \cdot X^n}{X + X^2 + X^3 + X^4 + \dots + X^n}$$

(18)

Das desigualdades (17) e (18) pode-se determinar a seguinte regra prática para encontrar a vida econômica ótima do equipamento :

- 1 - Não substituir o equipamento se o custo do próximo período é menor do que a média ponderada dos custos anteriores.
- 2 - Substituir o equipamento quando o custo do próximo período é maior do que a média ponderada dos custos anteriores.

Utilizando os dados do exemplo que aparece na página 21 (ver QUADRO 1) e construindo uma tabela (QUADRO 3), pode-se observar a aplicação do método que mostra a vida útil econômica de 6 anos para o equipamento.

PERÍODO (1)	D(i) Cr\$ (2)	R Cr\$ (3)	X^i (4)	RX^i Cr\$ (5)	$D(i)X^i$ Cr\$ (6)	$D(i)X^i$ Cr\$ (7)	C-R X^i Cr\$ (8)	(7)+(8) Cr\$ (9)	$\sum X^i$ (10)	(9)/(10) Cr\$ (11)
1	6000	15000	0,9091	13636,50	5454,60	5454,60	6363,50	11818,10	0,9091	12999,78
2	6500	12000	0,8264	9916,80	5371,60	10826,20	10083,20	20909,40	1,7355	12048,05
3	7100	10000	0,7513	7513,00	5334,23	16160,43	12487,00	28647,43	2,4868	11519,79
4	7700	8500	0,6830	5805,50	5259,10	21419,53	14194,50	35614,03	3,1698	11235,41
5	8400	7000	0,6209	4346,30	5215,56	26635,09	15653,70	42288,79	3,7907	11155,93
* 6	9300	6000	0,5645	3387,00	5249,85	31884,94	16613,00	48497,94	4,3552	11135,64
7	10400	5000	0,5132	2566,00	5337,28	37222,22	17434,00	54656,22	4,8684	11226,73
8	11600	4500	0,4665	2099,25	5411,40	42633,62	17900,75	60534,37	5,3349	11346,86
9	12900	4000	0,4241	1696,40	5470,89	48104,51	18303,60	66408,11	5,7590	11531,18
10	14300	3500	0,3855	1349,25	5512,65	53617,16	18650,75	72267,91	6,1445	11761,39

QUADRO 3 - FORMA TABULAR PARA O CÁLCULO DA VIDA ÚTIL ECONÔMICA
PELO MODELO QUE UTILIZA A EQUAÇÃO DE CUSTOS NA FORMA DISCRETA.

* Vida útil econômica de seis anos.

2.3 - MODELOS DE "TERBORGH"

2.3.1 - INTRODUÇÃO

Os modelos matemáticos para substituição econômica de equipamentos, desenvolvidos por Terborgh, são modelos que tratam de problemas de substituição do tipo "vida econômica". Entretanto, tais modelos consideram a influência do desenvolvimento da tecnologia, e é neste fato que eles se caracterizam

" O Machinery and Allied Products Institute (MAPI) realizou um grande trabalho na pesquisa e desenvolvimento dos estudos de substituição. Seu trabalho neste campo foi em grande parte executado pelo Sr. George Terborgh diretor de pesquisas do Instituto. Os resultados deste trabalho estão publicados em seu livro " Dynamic Equipment Policy " " ⁶.

Nesta parte do trabalho serão tratados os três modelos de Terborgh com suas terminologias, hipóteses básicas e simplificações práticas. Os dois primeiros modelos possuem a mesma terminologia e baseiam-se num elemento chamado "mínimo adverso" que será conceituado mais adiante. Já o terceiro possui uma terminologia diferente das anteriores podendo utilizar gráficos e tabelas para facilitar o seu emprego.

⁶ SCHWAN; H.T. - Maynard Manual de Engenharia de Produção; Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1970, p. 121, seção 8, Instalações Industriais.

2.3.2 - PRIMEIRO MODELO DE TERBORGHA - TERMINOLOGIA

DEFESA OU DEFENSOR - É o equipamento velho que se pretende substituir.

ATAQUE OU ATACANTE - Ataque ou atacante é o equipamento novo que deverá substituir o velho. É o equipamento que se propõe em substituição da defesa.

INFERIORIDADE OPERACIONAL - Com o decorrer do tempo a ação do desgaste físico diminui o rendimento operacional de um equipamento. Por outro lado, o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas incorporadas a novos equipamentos, aumentam o rendimento destes causando a obsolescência dos antigos. Então, a ação conjunta do desgaste físico e da obsolescência faz com que o defensor se torne operacionalmente inferior ao seu atacante imediato.

CUSTO DO CAPITAL - Custo do capital é o custo anual médio de recuperação do capital com juros. O custo do capital diminui à medida que aumentamos a vida útil do equipamento.

MÍNIMO ADVERSO - Já se viu que a inferioridade operacional cresce, com a vida útil do equipamento, enquanto que o custo do capital decresce, (ver FIGURA 3). Estas duas grandezas são então adversas e a mínima soma delas é o " mínimo adverso ". O mínimo adverso é a chave do modelo. O ponto mínimo da curva-soma é o ponto indicado para a substituição.

tuição (ver FIGURA 3). O mínimo adverso é, portanto, um nome que descreve esta situação. Ele não é uma propriedade inerente a uma máquina e só se aplica sob condições específicas de um dado trabalho ou atribuição.

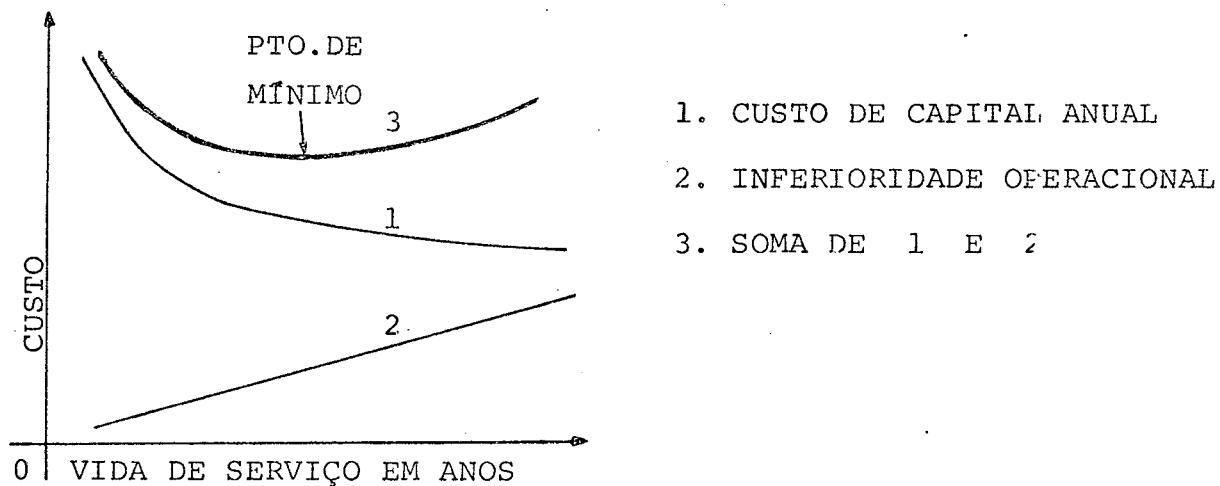


FIGURA 3 - RELAÇÃO ENTRE CUSTO ANUAL TOTAL, CUSTO DE CAPITAL ANUAL E INFERIORIDADE OPERACIONAL.

GRADIENTE ANUAL DE INFERIORIDADE - É a quantidade anual de inferioridade operacional acumulada pelo ataque.

B - HIPÓTESES BÁSICAS

1ª HIPÓTESE:

Futuros atacantes terão o mesmo mínimo adverso que o atacante atual.

2ª HIPÓTESE:

O atacante atual terá sua inferioridade operacional aumentada a uma taxa constante durante sua vida útil.

C - DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo desenvolve-se nas seguintes etapas :

1ª - Cálculo do mínimo adverso do atacante que é o menor custo anual equivalente calculado para diver -
sas vidas do atacante ;

2ª - Cálculo do mínimo adverso da defesa. O mínimo adverso da defesa poderá ser igual ao custo anual equivalente de se prolongar por mais um ano a vida do defensor ,ou será igual ao mínimo custo incremental equivalente calculado para diversos prolongamentos de vida do defensor. Tudo depende de como é encaminhado o problema ;

3ª - Comparação entre o mínimo adverso da defesa e o mínimo adverso do ataque. Se o mínimo adverso do atacante for menor do que o mínimo adverso da defesa, efetua-se a substituição; se ocorrer o caso contrário, prolonga-se a vida do defensor por um tempo que será visto mais adiante. Esta terceira etapa do desenvolvimento do modelo será chamada de "regra de decisão".

D - CÁLCULO DO MÍNIMO ADVERSO DO ATACANTE

(MAA)

Sejam :

- MAA = mínimo adverso do atacante, Cr\$
- C = custo de aquisição do atacante, Cr\$
- R(j) = valor residual do atacante, em Cr\$, na data
j, j = 1, 2, 3, ..., n
- D(j) = estimativa do desembolso de capital com o a
tacante no início do período j, j = 1, 2, 3, ...
..., n
- FRC(i, j) = fator de recuperação do capital de uma série
anual uniforme, à taxa de retorno i, duranta
te j anos, sendo j = 1, 2, 3, ..., n

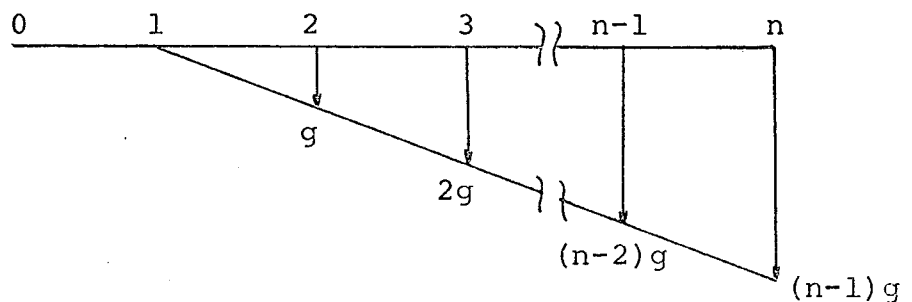
$$FRC(i, j) = \frac{i(1+i)^j}{(1+i)^j - 1}$$

- FVA'(i, j) = fator de valor atual para pagamento único à
taxa de retorno i para o ano j, sendo
j = 1, 2, 3, ..., n

$$FVA'(i, j) = \frac{1}{(1+i)^j}$$

- g = gradiente anual de inferioridade operacional
do atacante, Cr\$.

Considere-se o fluxo de caixa estimado para os gradi
dientes anuais de inferioridade operacional do atacante imediato :



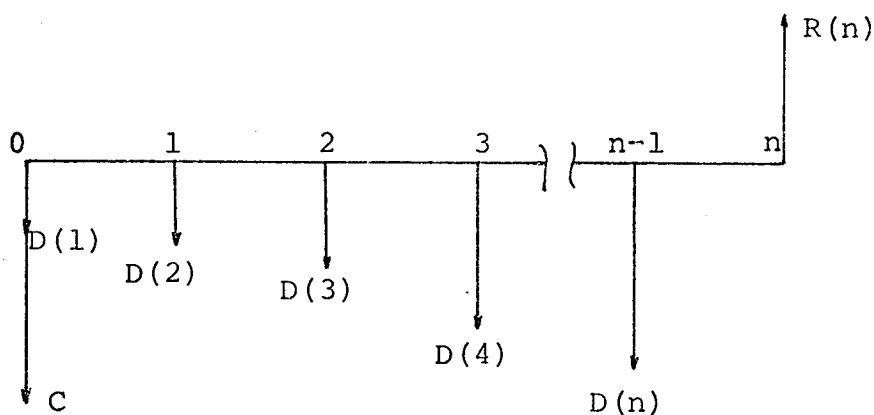
Referindo-se ao fluxo de caixa anterior, deve dizer-se que durante o primeiro ano não existe inferioridade operacional, devido ao fato de que, neste ano, o atacante é comparado consigo mesmo. Desta forma, no ano seguinte, haverá a inferioridade operacional g , no ano subsequente $2g$ (devido à 2ª hipótese básica), e assim por diante.

Ainda, para este fluxo de caixa, o custo anual equivalente (CAE), será :

$$CAE(n) = \left[\sum_{j=1}^n FVA'(i,j) \cdot (j-1)g \right] FRC(i,n) \quad (19)$$

sendo $n = 1, 2, 3, \dots, k$

Considere-se o fluxo de caixa para os desembolsos de capital, estimados para o atacante imediato :



O custo anual equivalente para este fluxo de caixa, será :

$$CAE(n) = \left[C - R(n) \right] \cdot FRC(i,n) + R(n) \cdot i + \left[\sum_{j=1}^n D(j) \cdot FVA'(i,j-1) \right] \cdot FRC(i,n) \quad (20)$$

sendo $n = 1, 2, 3, \dots, k$

O custo anual equivalente total é obtido pela soma das equações (19) e (20) ou seja :

$$\begin{aligned} \text{CAE}(n) = & \left[\sum_{j=1}^n \text{FVA}'(i,j) \cdot (j-1)g \right] \cdot \text{FRC}(i,n) + \left[C - R(n) \right] \cdot \\ & \cdot \text{FRC}(i,n) + R(n) \cdot i + \left[\sum_{j=1}^n D(j) \cdot \text{FVA}'(i,j-1) \right] \cdot \text{FRC}(i,n) \quad (21) \end{aligned}$$

sendo $n = 1, 2, 3, \dots, k$

Para obter-se o MAA, deve-se calcular o CAE(n) para diversas vidas n , e escolher entre eles o menor. Desta forma :

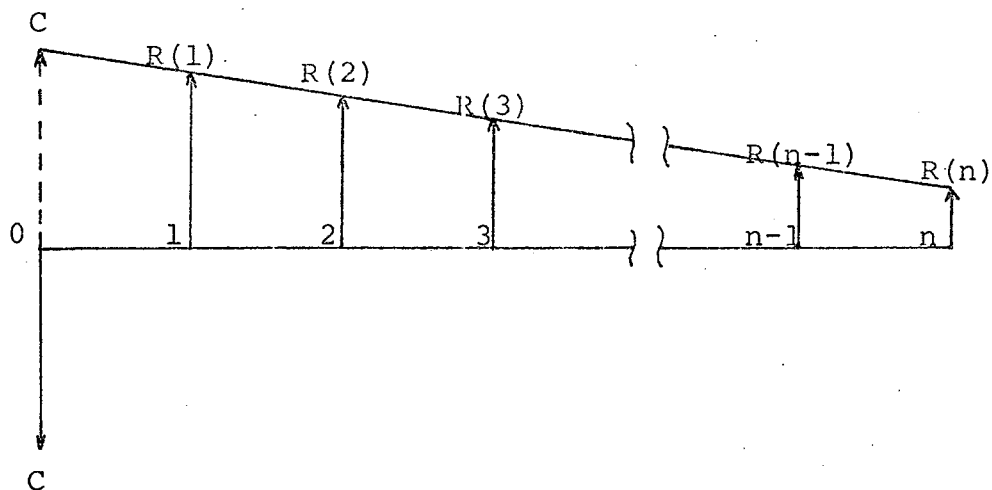
$$\text{MAA} = \min \text{CAE}(n)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, k$$

A obtenção do MAA através da equação (21) envolve muito trabalho de cálculo. Portanto, algumas simplificações práticas e outra maneira de encontrar o MAA serão agora introduzidas :

- usar-se-á o custo médio anual (CMA(n)) do atacante ;
- o único desembolso de capital será o de aquisição do atacante ;
- a depreciação do atacante far-se-á pelo método da linha reta.

Desta forma, o fluxo de caixa, estimado para os gradientes anuais de inferioridade operacional do atacante imediato, será o mesmo apresentado anteriormente, e o fluxo de caixa para os desembolsos de capital, estimados para o atacante imediato, será :



Deste fluxo de caixa se obtém :

$$\text{DESGASTE MÉDIO ANUAL DE CAPITAL} = \frac{C - R(n)}{n}$$

O valor residual, $R(j)$, em qualquer período j , será :

$$R(j) = C - j \left[\frac{C - R(n)}{n} \right] \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

O capital médio, será:

$$\text{CAPITAL MÉDIO} = \left[C + C - j \left[\frac{C - R(n)}{n} \right] \right] \cdot \frac{1}{2}$$

Mas, quando $j = n$, a fórmula acima fica igual a :

$$\text{CAPITAL M\u00c9DIO} = \left[C + R(n) \right] \cdot \frac{1}{2}$$

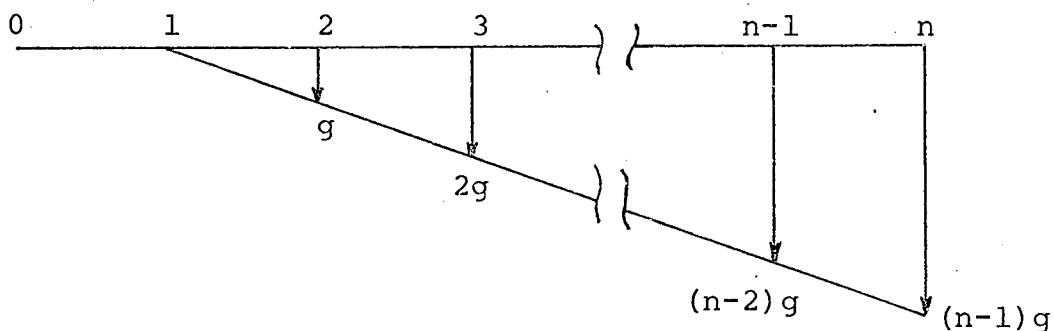
Os juros sobre o capital m\u00e9dio, ser\u00e3o :

$$\text{JUROS SOBRE O CAPITAL M\u00c9DIO} = \left[\frac{C + R(n)}{2} \right] \cdot i$$

O custo m\u00e9dio anual, $\text{CMA}(n)$, devido \u00e0quele fluxo, \u00e9 :

$$\text{CMA}(n) = \left[\frac{C + R(n)}{2} \right] i + \frac{C - R(n)}{n}, \text{ onde } n = 1, 2, 3, \dots, k \quad (22)$$

Considerando agora o fluxo de caixa para os gradientes anuais de inferioridade operacional do atacante imediato



tem-se :

$$\text{CMA}(n) = (n-1) g \cdot \frac{1}{2}, \text{ onde } n = 1, 2, 3, \dots, k \quad (23)$$

O custo m\u00e9dio anual total ser\u00e1 a soma das equa\u00e7\u00f5es (22) e (23):

$$\text{CMA}(n) = \left[\frac{C + R(n)}{2} \right] \cdot i + \left[\frac{C - R(n)}{n} \right] + \left[\frac{(n-1)g}{2} \right] \quad (24)$$

onde $n = 1, 2, 3, \dots, k$

O mínimo adverso do atacante imediato será o mínimo valor do $\text{CMA}(n)$ calculado pela equação (24). Isto pode ser obtido por tentativas, atribuindo diversos valores a n . Contudo, se na equação (24) for considerado $R(n) = 0$, simplifica-se ainda mais a fórmula para a obtenção do $\text{MAA}(n)$. Desta forma:

$$\text{CMA}(n) = \frac{C}{2} \cdot i + \frac{C}{n} + \frac{(n-1)g}{2} \quad (25)$$

Derivando a equação (25) em relação a n e igualando-se a zero, obtém-se:

$$\frac{d(\text{CMA}(n))}{d(n)} = -\frac{C}{n^2} + \frac{g}{2} = 0 \quad (26)$$

ou

$$n^2 g - 2C = 0 \quad \therefore \quad n = \sqrt{\frac{2C}{g}}$$

Substituindo este valor de n na equação (25), encontra-se:

$$\text{mín. CMA}(n) = \text{MAA}(n) = \frac{C}{2} \cdot i + C \sqrt{\frac{g}{2C}} + \frac{g}{2} \left[\sqrt{\frac{2C}{g}} - 1 \right]$$

ou

$$MAA(n) = \sqrt{2Cg} + \frac{iC - g}{2} \quad (27)$$

A fórmula (27), para o cálculo do MAA(n), necessita apenas de uma estimativa de gradiente de inferioridade operacional (g) do atacante. No entanto, para obter uma fórmula para o MAA(n) em função da vida útil estimada, procede-se da seguinte forma :

- na equação (26) isola-se o valor de g que é substituído na equação (25), ou seja :

$$g = \frac{2C}{n^2}$$

e

$$\text{mín. CMA}(n) = MAA(n) = \frac{C}{2} \cdot i + \frac{C}{n} + \frac{(n-1)}{2} \cdot \frac{2C}{n^2}$$

ou, colocando C em evidência :

$$MAA(n) = C \cdot \left[\frac{i}{2} + \frac{1}{n} + \frac{n-1}{n^2} \right]$$

ou ainda :

$$MAA(n) = C \cdot \left[\frac{i}{2} + \frac{2n-1}{n^2} \right] \quad (28)$$

Notou-se, empiricamente, que o termo " i/2 " da equação (28) deve ser substituída pelo termo " i/1,4 " , para se obter maior precisão ⁷ .

⁷ VALLE, J.A.F. - Métodos Matemáticos no Estabelecimento da Política de Substituição de Equipamentos, PUC, Rio de Janeiro, 1970, p. 61

$$MAA(n) = C \cdot \left[\frac{i}{1,4} + \frac{2n - 1}{n^2} \right] \quad (29)$$

Então a equação (29) é aquela que fornece o valor do $MAA(n)$ em função de uma estimativa da vida útil (n) do equipamento. É uma equação bastante prática, porém de excessiva sensibilidade às variações de n . Um pequeno erro na estimativa de n , acarretará uma grande variação no valor do $MAA(n)$.

A obtenção de $MAA(n)$ pela equação (29) só deve ser empregada, quando não há base suficiente para se estimar o gradiente anual de inferioridade (g).

E - CÁLCULO DO MÍNIMO ADVERSO DA DEFESA (MAD)

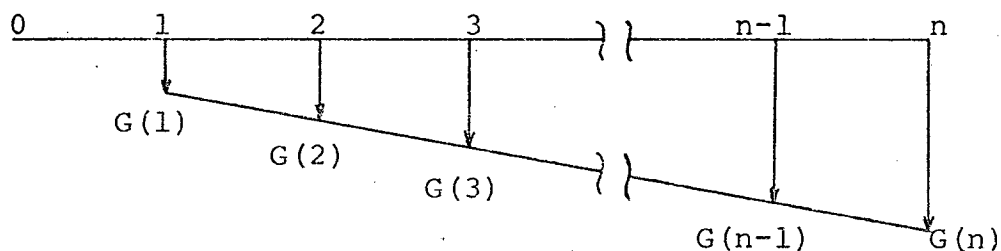
Sejam :

MAD = mínimo adverso do defensor

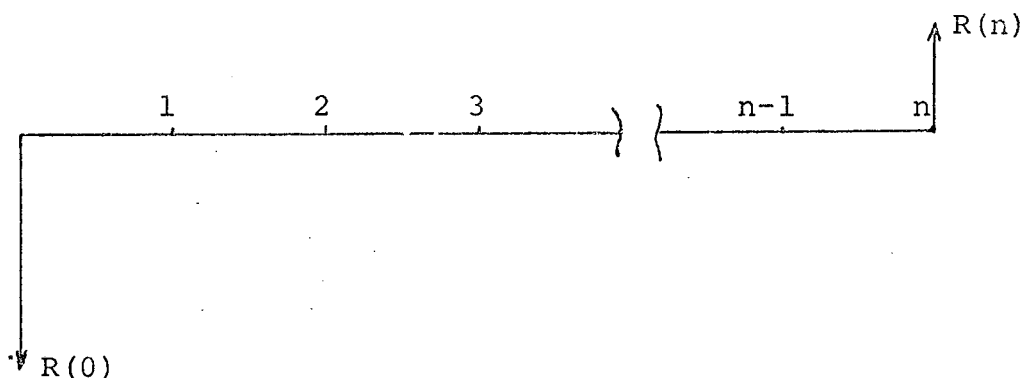
$R(j)$ = valor de revenda do defensor no ano j , $j = 1, 2, 3, \dots, n$

$G(j)$ = inferioridade operacional do defensor em relação ao seu atacante imediato no ano j , $j = 1, 2, 3, \dots, n$

Seja o fluxo de caixa estimado para as inferioridades operacionais do defensor quando comparado com o seu atacante i imediato :



Seja, também, o fluxo de caixa dos desembolsos de capital com o defensor se sua vida for prolongada por mais 1, 2, 3, ... , n anos :



O valor de revenda $R(0)$ equivalente ao investimento inicial que é o valor de revenda do defensor, obtido no mercado de equipamentos usados no ano zero.

Tomando-se os dois fluxos de caixa anteriores, o custo incremental equivalente das despesas de se prolongar a vida do defensor por n anos, é :

$$\begin{aligned} \text{CIE} (n) = & \text{FRC} (i, n) \cdot \left[\sum_{j=1}^n G(j) \cdot [\text{FVA}'(i, j)] \right] + \\ & + \left[R(0) - R(n) \right] \cdot \text{FRC}(i, n) + R(n) \cdot i \end{aligned} \quad (30)$$

onde $n = 1, 2, 3, \dots, k$

$\text{CIE} (n)$ = custo incremental equivalente de se prolongar a vida de defensor por n anos.

O menor $\text{CIE} (n)$ calculado pela equação (30) para diversos valores de n, será eleito como o mínimo adverso da

defesa, ou seja :

$$\text{MAD (n) = \u00edn. CIE (n)}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, k$$

\u00c9 aconselh\u00e1vel calcular o MAD(1), pois estimativas para um ano de prolongamento da vida do defensor, s\u00e3o mais precisas do que aquelas feitas para mais de um ano.

F - REGRA DE DECIS\u00c3O

Uma vez calculados o MAA e o MAD, deve-se a plicar a seguinte regra de decis\u00e3o :

- Se o MAA < MAD, procede-se a substitui\u00e7\u00e3o do defensor pelo atacante imediato.
- Se o MAA > MAD, n\u00e3o se procede \u00e0 substitui\u00e7\u00e3o e uma nova compara\u00e7\u00e3o entre o MAA e o MAD dever\u00e1 ter lugar depois de transcorridos os anos para os quais foi prolongada a vida do defensor.

2.3.3 - SEGUNDO MODELO DE TERBORGH

A - TERMINOLOGIA

A terminologia do segundo modelo de Terborgh \u00e9 a mesma utilizada no primeiro modelo.

B - HIPÓTESES BÁSICAS

1ª HIPÓTESE :

Futuros atacantes terão o mesmo mínimo adverso que o atacante atual.

2ª HIPÓTESE :

O atacante atual terá sua inferioridade operacional aumentada a uma taxa constante durante sua vida útil.

C - DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo desenvolve-se nas seguintes etapas :

- 1ª - cálculo do mínimo adverso do atacante ;
- 2ª - cálculo do mínimo adverso da defesa ;
- 3ª - regra de decisão - comparação entre o mínimo adverso do atacante e o mínimo adverso da defesa.

D - CÁLCULO DO MÍNIMO ADVERSO DO ATACANTE (MAA)

Sejam :

- MAA = mínimo adverso do atacante
- C = custo de aquisição do atacante
- R(n) = valor residual estimado para o atacante no fim da vida n .
- g = gradiente anual de inferioridade operacional do

atacante

i = taxa de retorno utilizada pela empresa

n = vida útil estimada do atacante

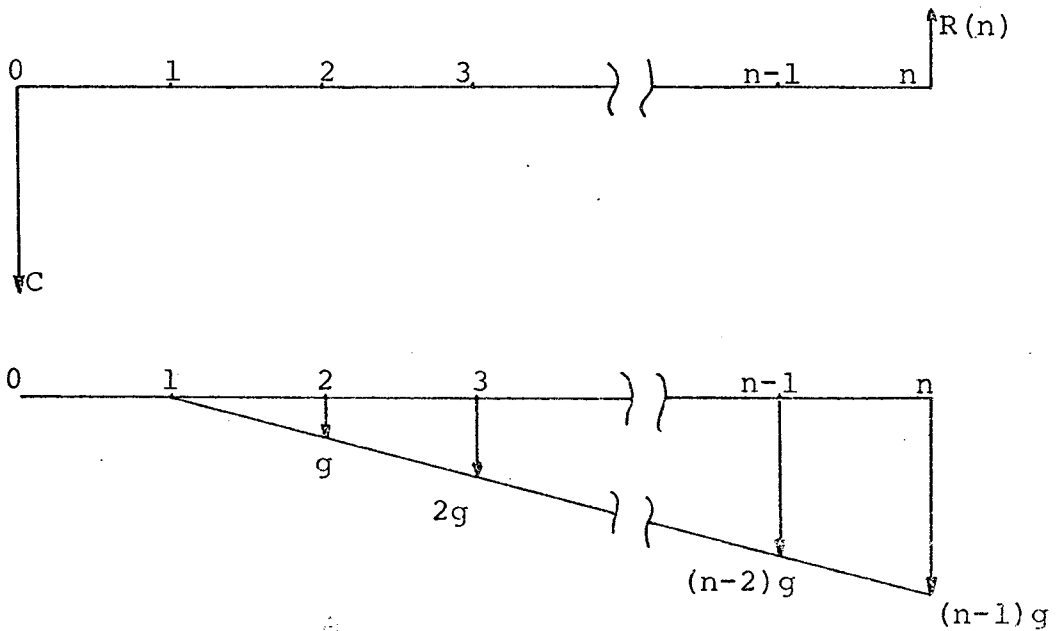
$FRC(i,n)$ = fator de recuperação do capital de uma série anual uniforme, à taxa de retorno i , para n anos.

$$FRC(i,n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$FG(i,n)$ = fator de gradiente à taxa de retorno i para n anos. Converte uma série gradiente em uma série anual uniforme equivalente.

$$FG(i,n) = \frac{g}{i} - \frac{n \cdot g}{i} \cdot \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Sejam ainda os fluxos de caixa correspondentes aos gastos de capital, e inferioridade operacional, respectivamente :



Tomando-se os dois fluxos de caixa anteriores, o custo anual equivalente, será :

$$CAE(n) = [C - R(n)] \cdot FRC(i, n) + R(n) \cdot i + FG(i, n)$$

ou

$$CAE(n) = [C - R(n)] \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} + R(n) \cdot i + \frac{g}{i} - \frac{ng}{i} \cdot \left[\frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right] \quad (31)$$

Na equação (31), CAE(n) é o custo anual equivalente para n anos de vida do atacante. O CAE(n) é a soma do custo anual de recuperação do capital com a inferioridade operacional anual equivalente.

Admita-se na equação (31) que o valor residual R(n) é diferente de zero e, que o método de depreciação empregado é o da percentagem fixa (" FIXED PERCENTAGE METHOD OF DEPRECIATION " ⁸ ou " DECLINING-BALANCE DEPRECIATION ACCOUNTING " ⁹) ; então, se f é a taxa fixa, tem-se :

$$R(1) = C - C \cdot f = C \cdot (1 - f)$$

$$R(2) = R(1) - R(1) \cdot f = R(1) \cdot (1 - f) = C \cdot (1 - f)^2$$

$$R(3) = R(2) - R(2) \cdot f = R(2) \cdot (1 - f) = C \cdot (1 - f)^3$$

⋮

$$R(n) = C \cdot (1 - f)^n$$

⁸ THUESEN, H.G.; FABRYCKY, W.J. - Engineering Economy, third edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1964, p.132.

⁹ GRANT, E.L.; IRESON, W.G. - Principles of Engineering Economy, fourth edition, The Ronald Press, New York, 1964, p. 169

então

$$f = 1 - \sqrt[n]{\frac{R(n)}{c}} \quad (32)$$

Prolongando-se por um ano a vida n do atacante, ter-se-á o seguinte gasto :

$$\left[R(n) - R(n+1) \right] \text{FRC}(i,1) + R(n+1) \cdot i + n \cdot g \quad (33)$$

mas

$$\text{FRC}(i,1) = 1 + i \quad \text{e} \quad R(n+1) = R(n) \cdot (1 - f)$$

logo, a expressão (33) será :

$$\left[R(n) - R(n) \cdot (1 - f) \right] \cdot (1 + i) + R(n) \cdot (1 - f) \cdot i + n \cdot g$$

ou

$$R(n) \cdot (i + f) + n \cdot g \quad (34)$$

Se, entretanto, for substituído o atacante no ano n por outro que irá trabalhar por n períodos, o gasto será o CAE (n) dado pela equação (31).

Admitindo-se a função CAE (n), da equação (31), contínua, o ponto de mínimo será atingido quando

$$\text{CAE} (n) = R(n) \cdot (i + f) + n \cdot g$$

Como $R(n)$, i , n , e f são fixos, para que a igualdade anterior se verifique, é preciso que :

$$g = \frac{\text{mín. CAE}(n) - R(n) \cdot (i + f)}{n} \quad (35)$$

Substituindo o valor de g obtido através da equação (35) na equação (31), e sendo o mín CAE (n) igual ao MAA, tem-se :

$$\text{MAA} = \left[C - R(n) \right] \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} + R(n) \cdot i +$$

$$\frac{\text{MAA} - R(n) \cdot (i + f)}{i \cdot n} - \frac{\text{MAA} - R(n) \cdot (i + f)}{i} \cdot \left[\frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

ou

$$\begin{aligned} \text{MAA} \left[n \cdot i (1 + i)^n - (1 + i)^n + 1 \right] &= (C - R(n)) \cdot i^2 \cdot n (1 + i)^n + \\ + R(n) \cdot i \cdot \left[(1 + i)^n - 1 \right] \cdot i \cdot n - R(n) \cdot (i + f) \cdot (1 + i)^n + \\ + R(n) \cdot (i + f) + R(n) \cdot (i + f) \cdot i \cdot n \end{aligned}$$

Dividindo ambos os membros por $(1 + i)^n$ e simplificando, chega-se a :

$$\text{MAA} = \frac{n \cdot i \cdot \left[C \cdot i + \frac{R(n) \cdot f}{(1 + i)^n} \right] - R(n) \cdot (i + f) \cdot \left[1 - \frac{1}{(1 + i)^n} \right]}{n \cdot i + \frac{1}{(1 + i)^n} - 1} \quad (36)$$

A fórmula (36) permite o cálculo do MAA de maneira mais simples do que no caso do primeiro modelo, pois não precisa de tentativas. A utilização da vida útil n em troca do gradiente de inferioridade operacional, também, facilita o emprego da fórmula (36), uma vez que n é mais fácil de estimar.

Se o valor residual $R(n)$ estimado for zero, a equação (36) torna-se :

$$MAA = \frac{C n i^2}{n i + \frac{1}{(1+i)^n} - 1} \quad (37)$$

E - CÁLCULO DO MÍNIMO ADVERSO DA DEFESA (MAD)

O cálculo do mínimo adverso da defesa é o mesmo realizado no item E para o primeiro modelo.

F - REGRA DE DECISÃO

- Se o $MAA < MAD$, procede-se à substituição do defensor pelo atacante imediato.
- Se o $MAA > MAD$, não se procederá à substituição e uma nova comparação entre o MAA e o MAD deverá ter lugar depois de transcorridos os anos para os quais foi prolongada a vida do defensor.

2.3.4 - TERCEIRO MODELO DE TERBORGH

O terceiro modelo de Terborgh utiliza uma terminologia diferente da dos dois modelos anteriores. Contudo, a consideração do desenvolvimento da tecnologia permanece neste modelo.

O modelo aplica um algoritmo para analisar oportunidades de substituição após a incidência do imposto de renda. Este algoritmo nada mais é do que uma taxa de retorno tomada para um ano de horizonte de planejamento, denominada "Índice de urgência MAPI". O modelo considera também as parcelas de capital próprio e de terceiros que foi investida, bem como o tipo de depreciação utilizado pela empresa.

A - TERMINOLOGIA

Como já foi dito, este modelo utiliza outra terminologia e, desta forma, conceituam-se novos elementos:

VALOR DO CAPITAL - Da receita de determinado ano deduz-se uma parcela para cobrir o decréscimo no valor residual do equipamento naquele ano. Esta parcela é denominada, por Terborgh, de "recuperação do capital". Outra parcela desta receita será deduzida para cobrir as despesas do equipamento naquele ano. Deduzidas estas duas parcelas da receita, esta será o lucro sobre o qual incidirá o imposto de renda.

O valor do capital é o valor presente das futuras recuperações de capital e lucros após a incidência de imposto de renda.

DESGASTE DE CAPITAL - É a diminuição do valor do capital devido à deterioração, obsolescência, aumento de custos de manutenção, diminuição no desempenho etc. do equipamento.

Desta maneira, um dos custos que aparece por se usar o equipamento por mais um ano, é o desgaste de capital.

O desgaste do capital pode dar-se por um dos três modelos seguintes ¹⁰:

a-) Modelo da projeção " standard "

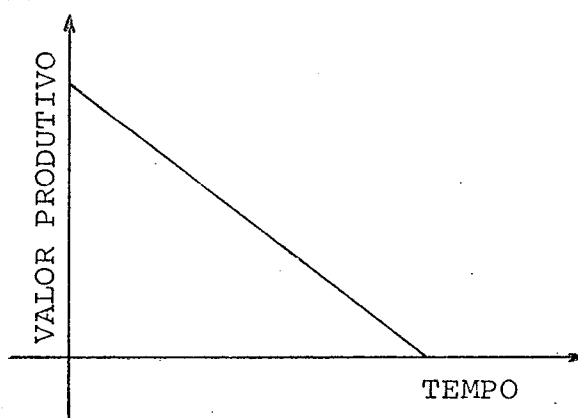


FIGURA 4 - MODELO DE PROJEÇÃO " STANDARD "

O modelo de projeção " standard " se dá segundo o gráfico da figura acima. O valor do equipamento, como um gerador de lucros, decresce linearmente durante seu tempo de vida útil.

¹⁰. STARR, Martin K. - Administração da Produção, Sistemas e Sínteses, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1971, p. 425.

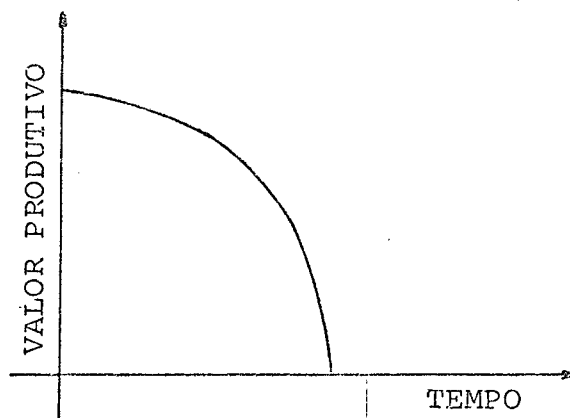
b-) Modelo da mudança acelerada no fim da vida

FIGURA 5 - MODELO DA MUDANÇA ACELERADA NO FIM DA VIDA.

Neste modelo o decréscimo do desgaste de capital é acentuado no fim da vida útil do equipamento.

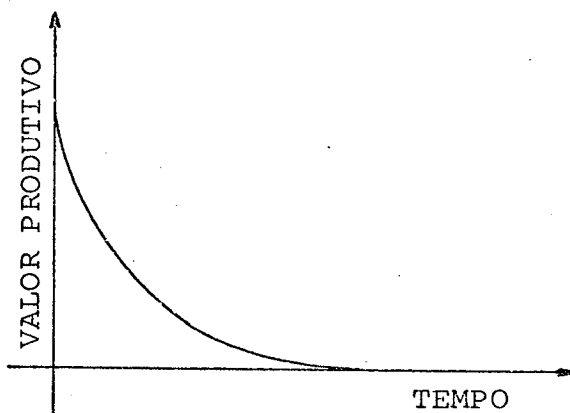
c-) Modelo da mudança acelerada inicial

FIGURA 6 - MODELO DE MUDANÇA ACELERADA INICIAL

A figura acima mostra a maneira pela qual se dá o desgaste do capital segundo o modelo da mudança acelerada inicial.

ÍNDICE DE URGÊNCIA "MAPI" (IUM) - este índice, que é a chave do 3º modelo de Terborgh, nada mais é do que uma taxa de retorno após o imposto de renda. Ele é definido como ¹¹ :

$$\text{IUM} = \frac{\text{vantagem monetária líquida por se adotar novo equip.}}{\text{investimento líquido necessário na adoção do novo equip.}} \cdot 100$$

B - OBJETIVO DO MODELO

O modelo tem por objetivo decidir entre as seguintes alternativas :

- substituir o equipamento em uso pelo equipamento imediatamente disponível;
- prolongar a vida do atual por mais um ano, para então substituí-lo pelo disponível no ano seguinte.

A comparação entre alternativas é feita através da comparação dos IUM de cada uma delas.

C - CÁLCULO DO ÍNDICE DE URGÊNCIA MAPI (IUM)

Para obter o IUM , é preciso estimar :

¹¹ VALLE, José Antonio de Freitas - Métodos Matemáticos no Estabelecimento da Política de Substituição de Equipamentos, PUC, Rio de Janeiro, 1970, p. 73.

(1) - INVESTIMENTO LÍQUIDO - É o custo de aquisição e de instalação do novo equipamento, menos qualquer investimento evitado pela sua adoção.

(2) - VANTAGEM OPERACIONAL PARA O ANO SEGUINTE - É o a crêscmo na receita mais o decrêscimo nos custos do novo equipamento, no ano seguinte ao da sua instalação.

(3) - DESGASTE DO CAPITAL EVITADO NO ANO SEGUINTE - É expresso como a redução no valor residual do equipamento atual, se mantido em funcionamento por mais um ano. Adicionadas a isto estão as inversões de capital necessárias para o seu funcionamento durante o ano.

(4) - DESGASTE DE CAPITAL NO ANO SEGUINTE - É a diminuição no valor presente, após a incidência do imposto de renda, da recuperação do capital e do lucro após o imposto de renda. Para cada modelo de desgaste do capital, Terborgh construiu gráficos que permitem, de acordo com o método de depreciação utilizado, a obtenção do desgaste de capital. Para cada modelo de desgaste do capital foram aplicados três métodos de depreciação : o da linha reta, o da soma dos dígitos e o exponencial razão dupla. Na construção destes gráficos, Terborgh admitiu ainda, que 75% do capital investido, na compra do equipamento, era capital próprio da empresa , os restantes 25% eram capital de terceiros e a taxa do imposto de renda era de 50%. A taxa de retorno sobre o capital próprio foi fixada em 10% ao ano, enquanto que a taxa de juros sobre o capi -

tal de terceiros foi de 3% ao ano. As curvas, nestes gráficos, para um determinado modelo de desgaste do capital e para certo método de depreciação, aparecem em função da vida útil estimada do equipamento e da porcentagem do valor residual em relação ao investimento líquido. No anexo A, são apresentados estes gráficos para os modelos de desgaste do capital. Se o equipamento satisfaz as condições impostas para a construção dos gráficos, encontra-se com a vida estimada do equipamento e com a porcentagem do seu valor residual em relação ao investimento inicial, obtendo-se nestes gráficos o desgaste do capital no ano.

(5) - VARIAÇÃO DO IMPOSTO DE RENDA NO ANO SEGUINTE - É

a diferença de imposto de renda que aparecerá pela adoção do novo equipamento. A adoção de um novo equipamento altera o lucro tributável da empresa.

Para calcular o IUM, usar-se-á a seguinte fórmula¹²:

$$\text{IUM} = \left[\frac{(2) + (3) - (4) - (5)}{(1)} \right] \cdot 100 \quad (38)$$

onde (1), (2), (3), (4) e (5) são os itens correspondentes às definições anteriores.

¹² FABRYCKY, W.J.; TORGERSEN, P.E. - Operations Economy: Industrial Applications of Operations Research, Prentice - Hall, Inc., New Jersey, 1966, p. 168.

D - REGRA DA DECISÃO

Compara-se o IUM do projeto de substituição do velho pelo novo equipamento com o IUM do projeto de prolongar a vida do velho por mais um ano. A alternativa que apresentar o menor IUM será eleita como a melhor.

2.4 - MÉTODO DO CAPITAL PLANEJADO

2.4.1 - INTRODUÇÃO

Joel Dean ¹³ diz que investimentos em substituições são freqüentemente feitos sem qualquer referência ao critério da taxa de retorno, e que estes investimentos podem e devem ser forçados a competir com outros tipos de investimento basea - dos na taxa de retorno de cada um. Também diz que não há razões particulares para favorecer um investimento em substituição sobre outros investimentos cujas taxas de retorno prometem ser mais altas.

O método do capital planejado considera o projeto de substituição de equipamento como uma alternativa de investimento que deve competir com as demais alternativas de investi-mento que a empresa possui. Para tal deve ser usado o critério da

¹³ DEAN, Joel - Capital Budgeting, N. York, Columbia University Press, 1951, p.89.

taxa de retorno, que selecionará a alternativa de maior taxa de retorno.

Um investimento em substituição é um gasto na aquisição de um novo equipamento que deve realizar o mesmo trabalho que o realizado pelo velho, e o lucro devido à substituição do velho pelo novo se apresenta na forma de economia de custos. Entretanto, se o equipamento é substituído por motivo de obsolescência, poderão ocorrer diferenças nas receitas fornecidas por estes equipamentos de características diferentes, o que influenciará no lucro.

Desta forma o método separa o problema da substituição em duas partes :

- substituição de equipamentos idênticos;
- substituição devido à obsolescência .

Far-se-á, primeiramente, uma exposição da substituição de equipamentos idênticos na qual se fundamenta o método, e após será abordada a substituição por obsolescência.

2.4.2 - SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS IDÊNTICOS

Na substituição de equipamentos idênticos o método baseia-se na comparação dos custos futuros do equipamento velho, em uso, com os futuros custos do novo equipamento, idêntico ao primeiro, que poderá ser o substituto. Mas esta comparação é baseada na estimativa destes custos futuros e, para melhor se prever ou se estimar, necessário se faz analisar os componentes dos

custos que ocorrerão pela utilização do velho e do novo equipamento no processo produtivo.

Os componentes dos custos são :

- custos operacionais;
- custos de manutenção ;
- desgaste do capital ;
- custos incertos ;
- custos combinados ;
- custos combinados do novo equipamento.

- CUSTOS OPERACIONAIS : São os custos necessários para o funcionamento e operação do equipamento no processo de produção. Estes custos são, por exemplo, energia, salários dos operadores, etc. O comportamento do custo operacional aparece na curva 2 do gráfico da figura 7 . Nota-se que ele cresce em função da idade do equipamento. A estimativa dos custos operacionais pode ser feita tomando-se como base os custos operacionais de um equipamento idênticos operando em condições similares. Contudo deve atentar-se para os aumentos esperados nos salários, combustíveis, etc.

- CUSTOS DE MANUTENÇÃO : São os gastos necessários para manter o equipamento em condições ótimas de funcionamento durante o tempo de vida do mesmo. Lubrificação, salários do pessoal de manutenção, reparos, etc. são alguns exemplos destes custos. A curva 3 da figura 7 dá uma idéia do crescimento do custo de manutenção. Esta curva muito se parece com a curva do custo operacional. A exemplo dos custos opera -

cionais, os custos de manutenção também podem ser estimados tomando-se como base os custos de manutenção históricos de um equipamento idêntico. No entanto, previsões mais exatas serão obtidas se for tomado para comparação um grupo de equipamentos idênticos, operando em condições similares daquele em estudo. Devem-se também observar os possíveis aumentos dos preços.

- DESGASTE DO CAPITAL : É o decréscimo esperado do valor do equipamento em cada ano, baseado na estimativa futura dos preços no mercado de equipamentos usados. Este custo é representado aproximadamente pela curva 5 do gráfico 7. Nota-se que há um decréscimo rápido no valor residual durante os primeiros anos e, nos anos subsequentes, a curva torna-se quase horizontal. O conhecimento do mercado de equipamentos usados e o seu comportamento é de vital importância para a estimativa do desgaste do capital. Para o novo equipamento o desgaste do capital é a diferença entre o investimento feito na sua compra e o seu valor residual esperado. O valor do velho equipamento hoje seria obtido através de uma consulta no mercado de equipamentos usados e, se for mantido por mais um ano, ter-se-á um desgaste de capital igual à diferença entre o seu valor no mercado hoje e o seu valor estimado daqui a um ano.

- CUSTOS INCERTOS : São custos estimados devido a paradas para consertos e reparos no equipamento. A frequência destas paradas é suposta maior quanto mais velho estiver o equipamento. (ver curva 4 na figura 7.). Para estimar estes custos, é necessário, primeiramente, estimar, com base em experiência passada, o tempo improdutivo devido a quebras,

e depois estimar o custo deste tempo improdutivo.

- CUSTOS COMBINADOS : São representados pela curva 1 da figura 7 que é a soma dos custos relacionados anteriormente.

- CUSTOS COMBINADOS DO NOVO EQUIPAMENTO : É a média anual dos custos futuros esperados para o novo equipamento. Este custo médio anual esperado é obtido pela fórmula :

$$CMA(n) = \frac{C - R(n)}{n} + \sum_{j=1}^n \frac{CM(j) + CO(j) + CI(j)}{n}$$

onde :

- CMA(n) - custo médio anual para n anos de vida do equipamento
- C - custo inicial do equipamento
- R(n) - valor de mercado do equipamento, esperado para o ano n
- CM(j), j = 1, n - custos de manutenção para cada ano j, j variando de 1 até n
- CO(j), j = 1, n - custos operacionais para cada ano j, j variando de 1 até n
- CI(j), j = 1, n - custos incertos para cada ano j, j variando de 1 até n
- n - vida escolhida para o equipamento.

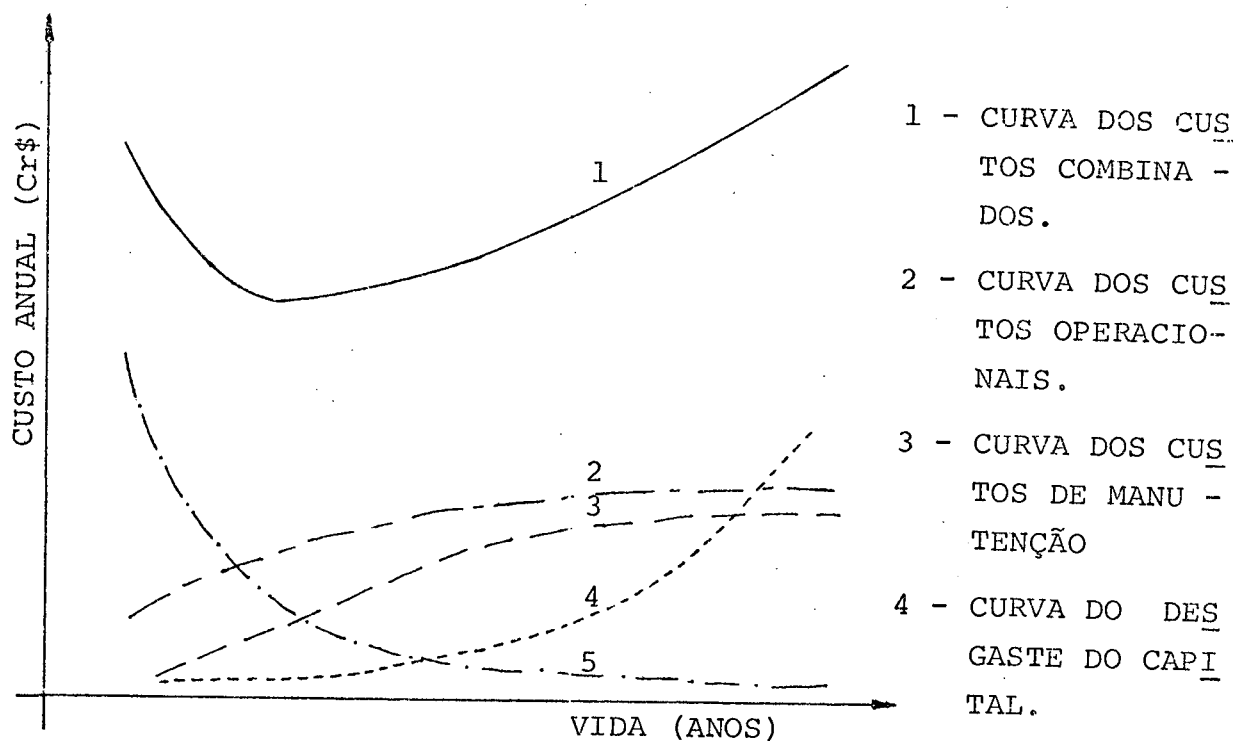


FIGURA 7 - CURVAS REPRESENTATIVAS DOS CUSTOS DO EQUIPAMENTO.

Nota-se pela fórmula anterior que o custo médio anual é indiretamente proporcional à vida (n) do equipamento. Este custo é representado por uma linha reta horizontal (ver figura 8) cujo nível depende do valor de n . Quanto maior o valor de n , mais baixo será o nível da curva do $CMA(n)$ e vice-versa.

O ponto ótimo de substituição é aquele a partir do qual surge a economia de custos. Este ponto é a interseção entre a curva de custos combinados do equipamento velho e a reta de custo médio anual do novo equipamento. A abscissa deste ponto determina a vida econômica, ou seja, a vida além da qual o custo anual de se manter o equipamento velho por mais um ano supera o custo anual do novo equipamento (ver figura 8).

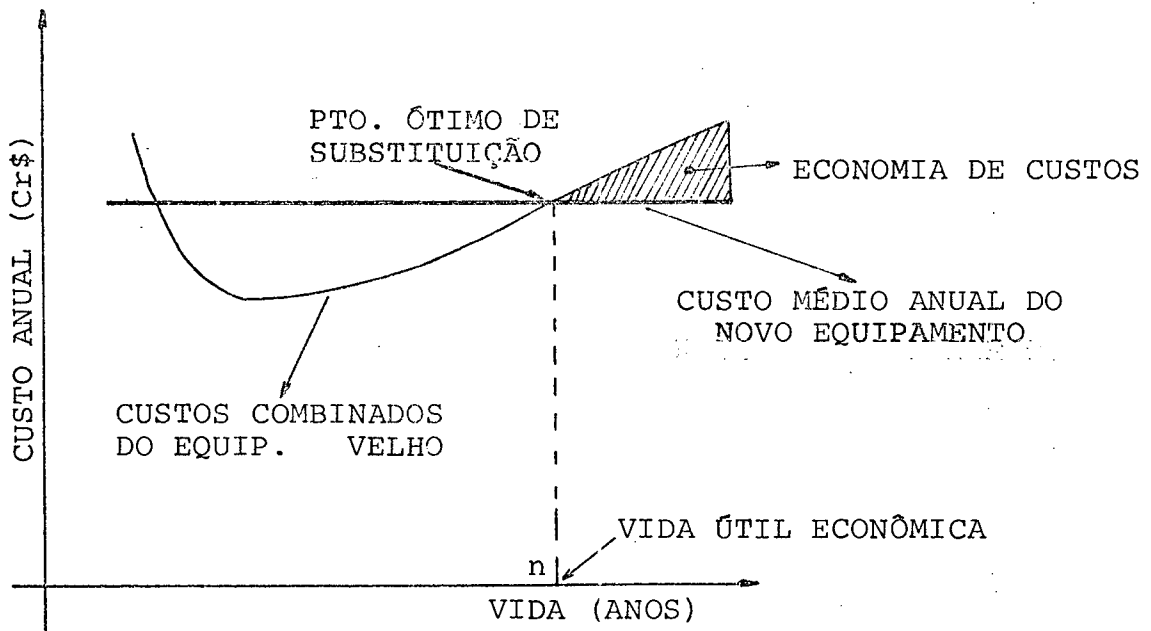


FIGURA 8 - OBTENÇÃO DA VIDA ECONÔMICA

O ponto mais estratégico do método é a determinação da vida econômica. Deve-se fazer aproximações sucessivas para encontrar o valor n que coincide com a abcissa do ponto ótimo de substituição. Atribui-se um valor para n e se calcula o $CMA(n)$ que estará a certo nível no gráfico da figura 8. Se para este n não houver coincidência deste com a abcissa do ponto de interseção da curva com a reta, deve atribuir-se outro valor para n e assim por diante, até ocorrer a coincidência. O problema pode ser resolvido analiticamente ou graficamente.

Uma vez obtida a vida econômica, deve determinar-se a taxa de retorno do investimento em substituição. Para obter a taxa de retorno, lembrar-se-á que ela é devida à economia de custos e, portanto, teremos :

$$i = \frac{\text{ECONOMIA DE CUSTOS POR \text{N} SE MANTER O EQUIP. VELHO POR MAIS 1 ANO}}{\text{CUSTO INICIAL DO NOVO EQUIP. - VALOR DE MERCADO DO VELHO EQUIP.}}$$

Se a taxa de retorno obtida for maior ou igual à taxa mínima de atratividade da empresa, o projeto de substituição do equipamento é econômico e pode concorrer com os demais projetos de investimento que também têm taxas de retorno superiores ou iguais à taxa mínima de atratividade. Entretanto, se a taxa de retorno for inferior à taxa de mínima atratividade, a decisão será utilizar o equipamento velho por mais um ano e então realizar novo estudo de substituição.

2.4.3 - SUBSTITUIÇÃO DEVIDA À OBSOLESCÊNCIA

A procura contínua de novos métodos e processos de produção faz com que fabricantes de equipamentos desenvolvam modelos que trabalham a mais baixos custos de produção. Estes novos modelos condenam, do ponto de vista econômico, todas as máquinas anteriormente existentes. As séries anteriores, embora apresentem características físicas satisfatórias, não poderão mais operar num mercado competitivo. Haverá então a necessidade de investimentos em substituição de equipamentos.

A substituição devida à obsolescência e a substituição de equipamentos idênticos são semelhantes, com respeito à produtividade do capital medida em termos de economia de custos. A diferença básica está na maneira de como se obtém a economia dos custos. Na substituição de equipamentos idênticos a economia de custos ocorre pelo fato de o equipamento velho desgastar-se com o uso. A ação do desgaste diminui a eficiência do equipamento, aumentando seus custos de operação e manutenção, o que deter-

minará uma economia de custos se um novo equipamento for levado a substituir o primeiro. Na substituição por obsolescência a economia de custos se dá, em grande parte, pelo progresso tecnológico.

Na estimativa da taxa de retorno do investimento neste tipo de substituição, deve-se atentar para dois fatos :

1º - A estimativa dos custos de mão de obra para o novo equipamento deve levar em conta a inclusão de custos para um período de treinamento e adaptação do pessoal ligado ao equipamento, já que se trata de equipamento diferente do velho;

2º - A vida do novo equipamento é de difícil estimativa , pois não se sabe até que ponto não surgirão novas técnicas, que irão encurtar a vida econômica do novo equipamento.

3 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

3.1 - TAXA DE RETORNO ADEQUADA

A taxa de retorno de um investimento é, por de finição, a taxa de juros que faz com que os valores atuais atribuí dos às receitas futuras se iguale ao custo de investimento, isto é, é a taxa que anula o valor atual do projeto.

Uma empresa industrial pode dispor de três fontes de obtenção de dinheiro para os seus projetos de investimento: o dinheiro poderá ser obtido através de empréstimos comuns de bancos ou outras entidades financeiras; poderá ser o próprio dinheiro da empresa, ou seja, de capital de giro ou de reservas; ou poderá ser ainda o capital de terceiros (entrada de novos sócios). De acordo com a natureza da obtenção deste dinheiro, a taxa de retorno variará.

A taxa de retorno é de grande importância nos estudos de substituição de equipamentos. Num estudo desta natureza a escolha correta da taxa de retorno dará resultados dentro de uma faixa de tolerância admissível, já que, como se sabe, não é obtida uma precisão absoluta em estudos que dependem de dados estimados e de previsões do futuro.

Quando o dinheiro necessário, para comprar ou reformar equipamentos, é obtido de empréstimos, deve-se lembrar que a taxa de juro não é apenas a taxa acrescida, talvez, de algum adicional para despesas administrativas. Quando uma agência financeira empresta dinheiro, ela reserva certo direito sobre os bens daquele que tomou o dinheiro emprestado, desta forma, a taxa de

retorno deve refletir o risco sobre estes bens. Quanto ao imposto de renda, os juros pagos pelo dinheiro emprestado são considerados como despesas e, portanto, a taxa de retorno não precisa ser corrigida para refletir os impostos pagos.

Quando o dinheiro usado é o próprio capital da empresa, o investimento ficará sujeito a impostos e riscos, dando origem ao custo de oportunidade, isto é, aquele dinheiro empregado na compra do equipamento substituído poderia ser empregado, em outros tipos de investimentos talvez mais rentáveis. A taxa de retorno empregada neste caso deve ser maior do que aquela obtida em operações externas.

No caso de capital de terceiros, é interessante saber que alguns fatores adicionais devem ser considerados na escolha adequada da taxa de retorno para estudos de substituição. Pode ocorrer, pelo aumento de capital da empresa, que os proprietários atuais tenham sua renda reduzida, a não ser que o dinheiro que entrou seja tão produtivo quanto o já existente. Poderá ocorrer, também, uma perda do controle da parte dos proprietários atuais. Para que não haja uma redução dos lucros líquidos, o problema dos impostos precisa ser cuidadosamente examinado.

3.2 - TAXAS DE RETORNO E DE INFLAÇÃO

O capital se deprecia bem mais rapidamente do que se compõem os juros. O capital se deprecia com a inflação, que é conhecida de todos nós, e as taxas de juros existentes não refletem a remuneração real do capital.

Suponha-se :

i = taxa de retorno real

a = taxa de retorno aparente ou nominal

r = taxa de inflação

Em regime não inflacionário e em vigor uma taxa de retorno real " i ", um capital " S ", no fim de determinado período, se transformaria em :

$$S (1 + i)$$

Sem retorno e com a incidência de uma taxa de inflação " r ", e capital S , no fim um período, seria :

$$S (1 + r)$$

Se o retorno e a inflação atuarem simultaneamente, S equivalerá, no fim de um período, a :

$$S (1 + i) (1 + r)$$

donde se pode concluir que a taxa de retorno aparente " a " é tal que :

$$S (1 + a) = S (1 + i) (1 + r)$$

Simplificando S , obtém-se :

$$1 + a = (1 + i) (1 + r)$$

$$1 + a = 1 + r + i + ir$$

ou

$$a = 1 + r + ir \quad (49)$$

o termo " ir " é o retorno sobre a inflação .

3.3 - TAXAS DE INFLAÇÃO E DE DESVALORIZAÇÃO DA MOEDA

A medida natural da inflação é o índice de custo de vida. Este índice é frequentemente publicado, é facilmente compreendido e muito usado na prática para reajuste de preços e de salários.

Tomando-se :

I_1 como o índice de custo de vida no ano A_1

I_2 como o índice de custo de vida no ano A_2

A_1 como o ano base,

Tem-se por definição :

$$\text{TAXA DE INFLAÇÃO} = r = \frac{I_2 - I_1}{I_1}$$

$$\text{TAXA DE DESVALORIZAÇÃO} = d = \frac{I_2 - I_1}{I_2}$$

Com a taxa de inflação r , a quantia inicial S será equivalente, ao cabo de 1 ano, ao valor " M_1 " , em dinheiro desvalorizado, tal que :

$$M_1 = S (1 + r)$$

Com a mesma taxa r , ter-se-á, no final do segundo ano uma quantia " M_2 " , em dinheiro desvalorizado, tal que :

$$M_2 = M_1 (1 + r)$$

ou

$$M_2 = S (1 + r)^2$$

No final do terceiro ano, ter-se-ia, ainda mantendo r constante :

$$M_3 = M_2 (1 + r)$$

ou

$$M_3 = S (1 + r)^3$$

Assim por diante, ter-se-ia no final de " n " anos, mantendo a mesma taxa de inflação r , uma quantia " M " , em dinheiro desvalorizado, tal que:

$$M = S (1 + r)^n \quad (50)$$

Sabe-se que o capital S colocado à uma taxa de juros compostos i por período, valerá, no fim de n anos :

$$M = S (1 + i)^n \quad (51)$$

Comparando as fórmulas (50) e (51) , pode dizer-se que a taxa de inflação se comporta como uma taxa de juros .

Agora, combinando-se o efeito da taxa de juros i e da taxa de inflação r , que atuam independentemente uma da outra, obtém-se :

$$M = S (1 + i)^n (1 + r)^n$$

$$M = S \left[(1 + i) (1 + r) \right]^n$$

$$M = S (1 + r + i + ir)^n$$

Mas $i + r + ir = a$, conforme a fórmula (49), logo :

$$M = P (1 + a)^n$$

3.4 - INFLUÊNCIA DO IMPOSTO DE RENDA E DA DEPRECIÇÃO NOS ESTUDOS DE SUBSTITUIÇÃO

A não consideração do imposto de renda num estudo de substituição pode levar a uma decisão errada. Na realidade, muitas alternativas se podem mostrar bastante interessantes, antes da incidência do imposto de renda, e depois passam a ser desinteressantes sob a ação deste. Contudo, isto não quer dizer que se tenha que considerá-lo sempre nos cálculos. Em muitos casos, a melhor alternativa antes do imposto continua sendo a mais vantajosa após o mesmo. Mas pode ocorrer que uma taxa de mínima atratividade seja interessante antes do imposto de renda e desinteressante ao empresário depois do imposto.

Se a taxa de mínima atratividade for $X \% a.a.$ an

tes do imposto de renda, e se a taxa do imposto de renda for de Y % a.a., a taxa de mínima atratividade, depois do imposto, será X' % a.a., tal que :

$$X' = X (1 - Y) 100$$

Por exemplo:

$$X = 15 \% \text{ a.a.}$$

$$Y = 30 \% \text{ a.a.}$$

$$X' = 0,15 (1 - 0,30) 100$$

$$X = 10,5 \% \text{ a.a.}$$

O imposto de renda é uma despesa. Trata-se de uma quantia gasta, a ser deduzida do fluxo de caixa. Ele incide sobre o lucro chamado tributável, deduzindo-se a depreciação.

A lei chama de lucro operacional o resultado apurado pela contabilidade da empresa, pelos métodos tradicionais, em consequência de suas atividades normais como personalidade jurídica de direito privado.

O lucro tributável é :

$$\begin{aligned} \text{LUCRO TRIBUTÁVEL} &= \text{LUCRO OPERACIONAL} + \text{RECEITA LÍQUIDA} \\ &\quad - \text{ALGUNS VALORES ISENTOS (OU TRIBU} \\ &\quad \text{TADOS EM OUTROS MOMENTOS) - DEPRECI} \\ &\quad \text{AÇÃO.} \end{aligned}$$

O motivo pelo qual subtrai-se do lucro tributável a depreciação é porque certos bens e direitos do ativo imobiliza-

do de uma empresa perdem seu valor com o decorrer do tempo. Uma máquina que hoje custa determinada quantia, e que deve durar certo número de anos, irá perdendo seu valor real devido ao uso e ao desgaste. Deve-se salientar que, embora a inflação possa manter, em termos relativos, o valor do bem, não o manterá em termos reais. Manter um equipamento no ativo com o seu valor original inflacionado, seria uma prática incorreta.

A legislação brasileira fixa, através do imposto de renda, um número mínimo de anos, nos quais se pode depreciar os equipamentos. A razão disto é impedir que a empresa, através de uma depreciação rápida, torne menores os lucros tributáveis, o que equivaleria a adiar a arrecadação do imposto de renda.

A consideração da depreciação como uma despesa anual servirá para a empresa constituir não só um fundo de reserva para se precaver contra a substituição dos equipamentos, quando estiverem desgastados, mas ainda criará recursos para modernizar o processo e para recuperar o investimento inicial, mesmo antes da deterioração física do equipamento.

No Brasil, é adotado apenas um método de depreciação. É o método da "depreciação linear" ou método da "linha reta". A depreciação anual, por este método, é calculada pela fórmula :

$$\text{DEPRECIAÇÃO ANUAL} = (C - R) \cdot \frac{1}{n}$$

onde " C " é o custo inicial do equipamento. Este custo deverá ser a soma de vários elementos :

- a-) preço de fatura do equipamento, colocado na fábrica (I.P.I., frete, seguro de transporte e outras despesas)
- b-) custo da instalação do equipamento
- c-) custo de acessórios
- d-) custo das peças sobressalentes
- e-) custo das interrupções na produção decorrentes da instalação do novo equipamento
- f-) custo do projeto

" R " é o valor residual do equipamento, ou seja, é o valor que se pode obter pela sua venda, se ele for retirado de uso. Salienta-se, aqui, que o valor de R é estimado pela empresa; " $1/n$ " é a taxa anual de depreciação, sendo n o número de anos usado para depreciar o equipamento.

Suponha-se uma máquina cujo custo inicial C seja de Cr\$ 30.000,00 e cujo valor residual esteja estimado em ... Cr\$ 5.000,00 , no fim de 10 anos. A depreciação anual, aplicando a fórmula da depreciação linear, será :

$$\text{DEPRECIÇÃO ANUAL} = (30.000 - 5.000) \cdot \frac{1}{10} = 2.500$$

Cr\$ 2.500,00 é a depreciação anual uniforme deste equipamento.

Haverá um decréscimo linear do valor remanescente de ano para ano, conforme mostra a figura 9.

Introduzir-se-á, agora, o conceito de valor contábil ou valor de livro de um equipamento. O valor de livro de um equipamento é a quantidade de seu custo inicial C que ainda não

foi depreciada, isto é, que ainda não foi transferida para o fundo de depreciação.

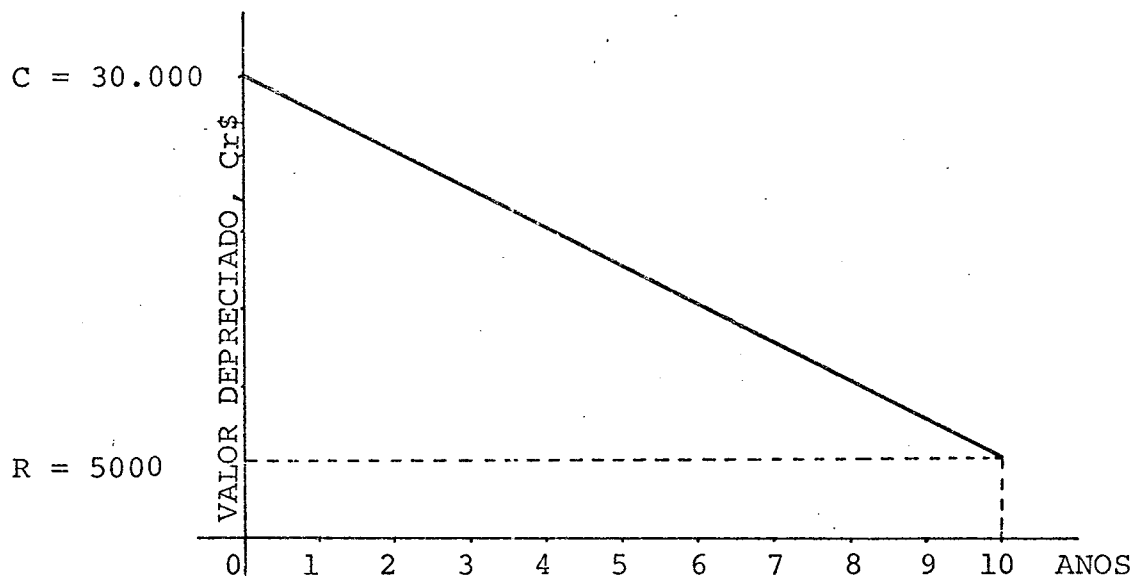


FIGURA 9 - DEPRECIÇÃO LINEAR DE UM EQUIPAMENTO COM
C = 30.000 e R = 5.000 em 10 ANOS

Tomandó-se o exemplo anterior, o valor contábil da da quele equipamento, ao término do seu 6º ano de uso, é :

$$\text{Cr\$ } 30.000,00 - 6 \times \text{Cr\$ } 2.500,00 = \text{Cr\$ } 15.000,00$$

Estes Cr\$ 15.000,00 não querem significar o valor real de mercado do equipamento, desprezando a inflação. Poderá o correr que o valor real seja maior ou menor do que este valor.

Os valores contábeis não servirão para os estudos de substituição. Um equipamento poderá tornar-se obsoleto antes da extinção do prazo previsto para efetuar sua depreciação, em razão do aparecimento de outro equipamento de melhor qualidade. Seu valor de mercado poderá ser nulo, enquanto que seu valor de livro a

inda não o é. Para a tomada de decisão, deve-se utilizar o valor real de mercado do equipamento.

Existem outros métodos de depreciação além do método da linha reta. Far-se-á agora uma breve descrição destes métodos, que são os mais conhecidos :

Método da porcentagem fixa ou método exponencial : este método envolve uma mudança não linear, admitindo que o valor do equipamento diminui, anualmente, segundo uma porcentagem fixa do valor que possuía no início do período. A depreciação obtida é maior nos primeiros anos de vida do equipamento.

Se " f " for a taxa fixa, " C " o custo inicial do equipamento e $R(j)$, $j = 1, n$ o valor residual do equipamento no ano j , tem-se :

$$\begin{aligned}
 R(1) &= C - C.f = C.(1 - f) \\
 R(2) &= R(1) - R(1).f = R(1).(1 - f) = C.(1 - f)^2 \\
 R(3) &= R(2) - R(2).f = R(2).(1 - f) = C.(1 - f)^3 \\
 &\vdots \\
 R(n) &= C.(1 - f)^n
 \end{aligned}
 \tag{52}$$

Assim, pela expressão (52) a parcela não depreciada em qualquer ano n , será :

$$C . (1 - f)^n$$

Ainda pela expressão (52) obter-se-á o valor da taxa fixa f :

$$f = 1 - \sqrt[n]{\frac{R(n)}{C}}$$

Método da soma dos dígitos ou método da soma dos a
nos : este é também um método de depreciação decrescente. A depre-
 ciação anual é uma fração cujo denominador é a soma dos n primei-
 ros números naturais ($n =$ vida do equipamento) e cujo numerador
 é a vida remanescente em anos. Para 5 anos de vida útil, a depreci-
 ação seria 5/15 no primeiro ano, 4/15 no segundo , 3/15 no tercei-
 ro, e assim por diante, até atingir 1/15 no último ano. Pode-se
 observar que, para cada ano que se sucede, a fração depreciada de-
 cresce. Para se determinar o valor do denominador, pode-se utili-
 zar a fórmula " $n(n + 1)/2$ " .

Aconselha-se a utilização do método da linha reta,
 quando o equipamento for igualmente utilizado no tempo, pois este
 método não sobrecarrega qualquer ano em particular. Os outros dois
 métodos sobrecarregam os anos iniciais mais que os anos finais.

3.5 - INFLAÇÃO E DEPRECIAÇÃO

Neste item é feita a exposição de um método para o
 cálculo da depreciação, levando em conta o aumento dos preços de
 reposição dos equipamentos ao fim da vida útil. Este método é uma
 generalização do método desenvolvido por Sergio Thenn de Barros ¹⁴.

" Devemos partir da premissa de que a empresa não
 vai parar, e que pretende substituir cada máquina ao fim da vida ú

¹⁴ BARROS, Sérgio Thenn de - Revista Engenheiro Moderno,
 Ago. 1965, p. 12-17 .

til por uma nova, para continuar operando economicamente. Havendo inflação, mesmo pequena, o custo inicial de aquisição da máquina perde todo o significado para o cálculo da depreciação. O melhor critério para isso é a constituição de um fundo de depreciação suficiente para cobrir o custo de reposição da máquina ao fim da vida útil, menos o valor residual nessa ocasião. Este processo depende de uma previsão antecipada do provável comportamento futuro da moeda, mas é o único critério viável, realista e honesto, nesta fase de inflação moderada que temos pela frente ... "15.

Pode-se dizer que o custo operacional horário de uma máquina é a soma de várias parcelas :

$$\begin{aligned} \text{CUSTO OPERACIONAL} = & \text{DEPRECIAÇÃO} + \text{JUROS} + \text{REPARAÇÃO} + \text{COM} \\ & \text{BUSTÍVEL E LUBRIFICANTE} + \text{MÃO DE OBRA} \\ & \text{E PREVIDÊNCIA SOCIAL} + \text{DESPESAS DIVER} \\ & \text{SAS .} \end{aligned}$$

A depreciação é de difícil previsão e é, talvez, a maior parcela do custo operacional de uma máquina. Vê-se, então, a necessidade de um estudo mais detalhado da depreciação.

O custo operacional é de grande importância para a análise de alternativas em estudos de substituição de equipamentos. A estimativa deste custo depende de uma boa previsão da depreciação.

Em regime de moeda estável, a depreciação total de

¹⁵ BARROS, Sergio Thenn de - Revista Engenheiro Moderno,

Ago. 1965, p. 12 .

uma máquina é a diferença entre o custo inicial e o preço de revenda no fim da vida útil da máquina. Havendo inflação, ou seja, desvalorização da moeda, a depreciação real não pode ser calculada em função do custo inicial do equipamento, mas, sim, em função do preço de reposição. A depreciação real total, neste caso, será igual à diferença entre o preço de reposição do mercado e o valor residual. Esta diferença será então lançada como despesa e distribuída em todas as horas ou anos da vida útil.

Admita-se que as quotas anuais de depreciação cresçam proporcionalmente à desvalorização da moeda, mantendo inalterado seu valor intrínseco corrigido. Faça-se constante o valor do coeficiente de correção monetária médio anual, durante o período de vida útil do equipamento. Suponha-se que o número de horas de serviço seja constante em todos os anos da vida útil da máquina.

Sejam :

C = preço inicial de aquisição da máquina

P = preço de substituição no fim da vida útil

R = preço de revenda da máquina velha ao fim da vida útil

n = vida útil em anos

m = vida útil em horas

$\frac{m}{n}$ = nº de horas de serviço por ano, em média

K = coeficiente constante de correção monetária médio anual para o período da vida útil.

$Q_0 = \frac{C}{n}$ = depreciação anual normal referente ao preço inicial, sem dedução do valor residual

$q_0 = \frac{C}{m}$ = depreciação horária normal

Q = depreciação total efetiva durante a vida útil levando em conta a inflação.

Q_j , $j = 1, n$ = quotas de depreciação anual efetiva, crescentes com a desvalorização da moeda

Por definição, escreve-se :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

$$Q = P - R \tag{53}$$

Pela fórmula dos juros compostos, tem-se :

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= 1Q_1 \\ Q_2 &= KQ_1 \\ Q_3 &= KQ_2 = K^2Q_1 \\ Q_4 &= KQ_3 = K^3Q_1 \\ &\vdots \\ Q_n &= KQ_{n-1} = K^{n-1}Q_1 \end{aligned} \right\} \tag{54}$$

Obtém-se, ainda devido à taxa " K " :

$$P = K^n C$$

mas, como $C = nQ_0$, tem-se :

$$P = n Q_0 K^n \tag{55}$$

Somando membro a membro as igualdades em (54), ob-
têm-se :

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = Q_1 (1 + K + K^2 + \dots + K^{n-1})$$

mas

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = Q, \quad \text{logo}$$

$$Q = Q_1 (1 + K + K^2 + \dots + K^n)$$

onde $(1 + K + K^2 + \dots + K^n)$ é uma progressão geométrica de
razão " K " , cuja soma é igual a :

$$\frac{K^n - 1}{K - 1}$$

Então :

$$Q = Q_1 \left[\frac{K^n - 1}{K - 1} \right] \quad (56)$$

Pelas equações (53) e (55) , tem-se :

$$Q = n Q_0 K^n - R \quad (57)$$

Igualando os dois valores de Q dados pelas equa-
ções (56) e (57) , obtêm-se :

$$n Q_0 K^n - R = Q_1 \left[\frac{K^n - 1}{K - 1} \right]$$

ou

$$Q_1 = \frac{K - 1}{K^n - 1} \left[n Q_0 K^n - R \right] \quad (58)$$

Esta fórmula permitirá o cálculo da primeira quota Q_1 de depreciação anual efetiva. Para aplicar a fórmula (58), deve-se conhecer K , n , Q_0 e R , valores obtidos por estimativas, mas que são indispensáveis ao cálculo da depreciação. Errar-se-á menos com uma estimativa imprecisa do que sem nenhuma estimativa.

Uma vez conhecido o valor de Q_1 , os demais valores de Q_j serão encontrados através das relações (54).

O coeficiente " K " poderá ser arbitrado através de um exame cuidadoso da curva de variação dos Índices gerais de preços nos últimos anos (FIGURA 11) e da curva de evolução dos preços nos últimos anos, do equipamento em estudo, corrigida pelas tendências atuais e expectativa futura. O gráfico da fig. 11 pode fornecer o aumento médio dos índices gerais de preços no período ' 1967 a 1972, os quais, provavelmente, não coincidirão com o aumento médio dos preços de qualquer equipamento, para o mesmo período de estudo. Analisando-se a tendência dos preços nos últimos anos e tendo-se em vista que o governo pretende reduzir a inflação a 12 % a.a. para o corrente ano, parece boa estimativa de " K " aquela obtida pela média entre o valor da previsão dos preços (levando em conta a evolução dos preços nos últimos anos e a inflação prevista) e do valor da média dos preços nos últimos anos. Considere-se, para exemplificar, que os preços de determinada máquina, nos últimos cinco anos, tenha apresentado um acréscimo médio de 9 % ao ano a mais do que os índices gerais de preços. Se tal tendência continuar, a taxa de inflação de 12% a.a. prevista para estes anos, acarretará um aumento de 21% no preço da máquina para o

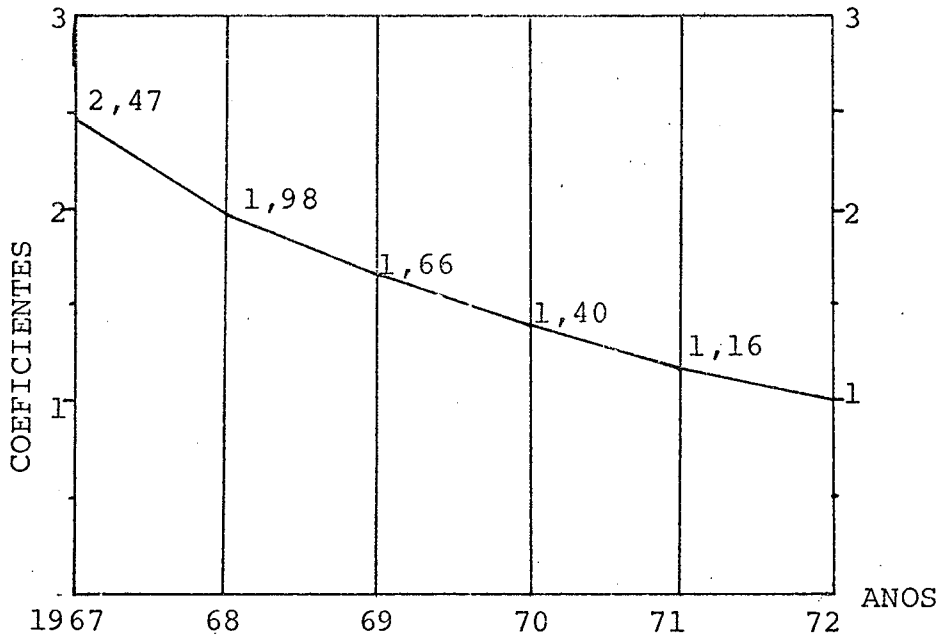


FIGURA 10 - CURVA REPRESENTATIVA DOS COEFICIENTES DE CORREÇÃO MONETÁRIA DO ATIVO IMOBILIZADO. O ÍNDICE UNITÁRIO DE 1972 SERVE DE REFERÊNCIA PARA OS DEMAIS COEFICIENTES. OS COEFICIENTES CONSTAM NO ANEXO B.

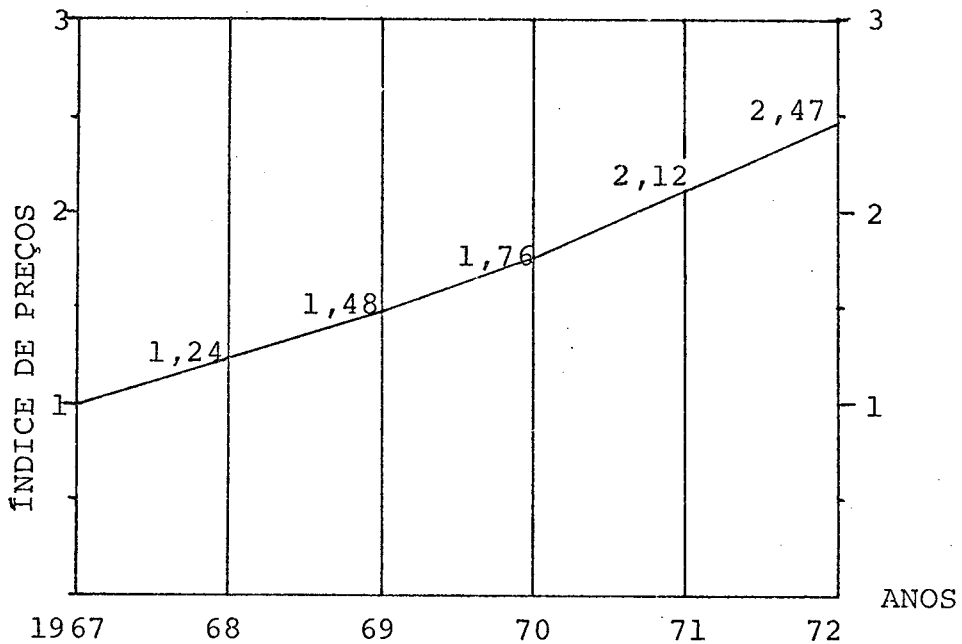


FIGURA 11 - VARIAÇÃO DOS ÍNDICES GERAIS DE PREÇOS, BASEADOS NOS COEFICIENTES DO GRÁFICO Nº10, PARA O PERÍODO 67/72.

próximo ano. Esta previsão pode ser chamada de previsão oficial . Por outro lado, suponha-se que a média dos preços desta máquina, nos últimos cinco anos, subiu atingindo 41% ao ano, em média. Com tais dados, arbitrar-se-ia o valor 31% para este ano, ou seja, $K = 1,31$ (obtido pela média entre 31% e 41%), e de pois atualizar-se-iam os valores de " K " de ano para ano, conforme a evolução que se verificar.

3.6 - A ADMINISTRAÇÃO NOS ESTUDOS DE SUBSTITUIÇÃO

Após uma empresa industrial ou um projeto entrar em operação por algum tempo, um problema para o administrador é a tomada de decisão entre permanecer com seu equipamento ou substituí-lo por um novo mais moderno e mais eficiente. O problema da administração é essencialmente a seleção de um plano de ação, escolhido entre alternativas que se baseiam em estimativas futuras.

O fato de existirem estimativas futuras nos estudos de substituição, pode levar um administrador menos informado aos bloqueios básicos, que são : medo de errar e medo do futuro.

Na realidade, existem fatores, tais como : impossibilidade de saber, com exatidão, até onde irá o avanço da tecnologia nos próximos anos; escolha de método adequado para realizar o estudo de substituição; escolha adequada dos novos equipamentos ; estimativas de custos; conhecimento do mercado de equipamentos usados, etc. que tornam complexo o estudo de substituição de equipamentos. Mas, exatamente neste ponto, pelo fato de o estudo ser complexo, é que haverá necessidade de um estudo sistemático que utili

ze todo o ferramental disponível.

É necessário que a alta direção da empresa tome consciência de que o problema existe e de que haverá necessidade de se fazerem estudos sistemáticos para substituir os equipamentos industriais.

Estes problemas poderão ser de maior ou menor grandeza de acordo com o tipo e tamanho da indústria e, uma vez conhecidos, certas providências se tornam necessárias ou até indispensáveis para se fazer uma abordagem correta. Schwan¹⁶ apresenta três principais ingredientes para se resolverem com sucesso os problemas de substituição :

- 1º - Deve haver um procedimento bem claro estabelecido para orientar as pessoas que estão fazendo o estudo detalhado.
- 2º - O problema de substituição deve ser integrado na estrutura da organização com uma indicação específica de responsabilidades e delineamento de tarefas.
- 3º - Deve-se estabelecer e usar um processo sistemático na solução de problemas específicos.

É um fato de grandes controvérsias a localização da " função substituição " na estrutura organizacional de uma empresa. Deve ser lembrado que esta função depende da natureza da empresa e do grau de especialização de seu pessoal técnico .

¹⁶ SCHWAN. H.T. - Maynard Manual de Engenharia de Produção, Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1970, p. 107, seção 8, Instalações Industriais.

Porém, um bom fluxo de informações se faz necessário entre os diversos departamentos, ligados direta ou indiretamente à produção.

Dá-se a seguir um esquema do fluxo de informações necessárias para que o estudo da substituição seja um trabalho de equipe de diversos departamentos, embora a responsabilidade básica deva estar afeta a um órgão central.

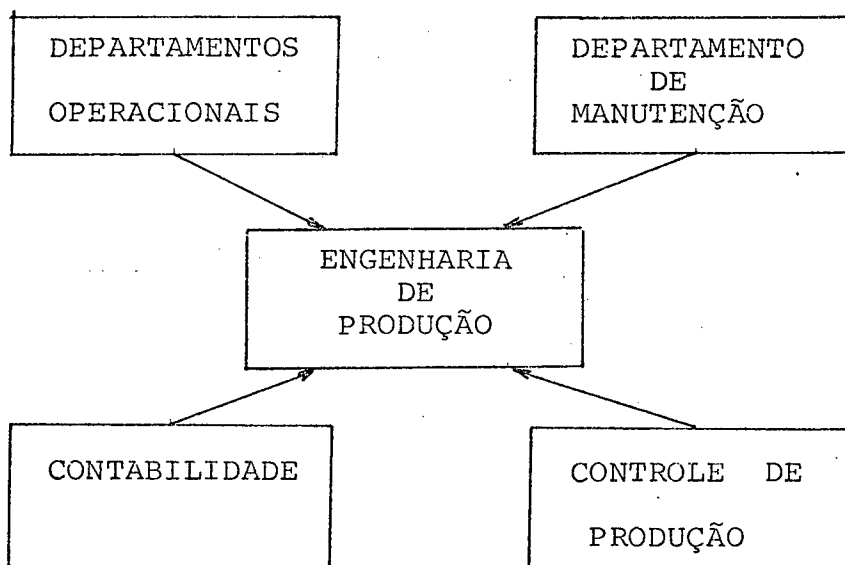


FIGURA 12 - DIAGRAMA DO FLUXO DE INFORMAÇÕES NUM ESTUDO DE SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS.

Como se pôde observar, é o departamento de engenharia de produção que centraliza as informações, tomando para si a responsabilidade básica. Acha-se que este é o departamento mais adequado para tal, embora sabendo-se que as responsabilidades atribuídas ao departamento de engenharia de produção sejam muito variáveis. Ele, por si só, já possui algumas informações necessárias para a determinação dos desempenhos das máquinas tanto ve

lhas como novas, estas informações são estudos de tempos, estudos de métodos e processos, utilização de materiais, ferramentas, e equipamentos auxiliares, etc.

As informações colhidas dos departamentos operacionais serão provenientes dos mestres, supervisores e até mesmo dos operadores. Este pessoal está em contato direto com o equipamento e os materiais utilizados. Eles sabem dos problemas existentes no passado e suas informações poderão ser úteis para o estabelecimento de estimativas futuras.

O departamento de manutenção possui importantes informações para o estudo de substituições, já que qualquer estudo deste tipo requer informações sobre :

- a-) custos dos reparos e manutenção do equipamento velho;
- b-) previsão dos custos de reparos e manutenção futura do novo equipamento proposto;
- c-) frequência de manutenção e reparo do equipamento velho e do novo equipamento proposto;
- d-) tipo destes reparos;
- e-) previsões de vidas úteis.

Se o departamento de manutenção mantém registros históricos do equipamento já existente, as informações requeridas serão de fácil obtenção. Para uma empresa de transportes, este departamento (oficina) será de extrema importância, pois, através de suas informações aliadas às informações da contabilidade, é que se poderá estabelecer planos sistemáticos de substituições dos veículos de sua frota.

A contabilidade deve fornecer dados sobre custo

dos produtos, financiamentos, taxas de juros, impostos, seguros e outras despesas.

O departamento de controle da produção tem, também, suas funções variáveis de empresa para empresa de acordo com sua estrutura organizacional. Entretanto, se este departamento faz a programação, liberação e carga de máquinas, tais informações serão úteis na escolha da nova máquina.

Como foi salientado anteriormente, o estudo da substituição de equipamentos é feito pelo departamento de engenharia de produção, que deverá, então, possuir pessoal capacitado e treinado para realizar tais estudos. Opina-se que, engenheiros de produção (ou industriais) são os elementos mais indicados, possuindo conhecimentos, treinamento, experiência e temperamento necessários para realizar estes estudos. Dados e sugestões dos outros departamentos deverão ser utilizados por ele.

Se, por algum motivo, os estudos de substituição forem delegados a outro departamento da empresa, serão ainda válidas as idéias enunciadas anteriormente.

Acrescente-se, aqui, que os estudos de substituição de equipamentos não apresentam grandes diferenças quando efetuados em grandes ou pequenas empresas. Simplesmente, a pequena empresa terá menor capital e menos equipamentos. Mas proporcionalmente, o problema é de grande importância para a pequena empresa. Duas sugestões são dadas para que as pequenas empresas possam realizar o estudo sistemático da substituição :

- a-) Delegar o problema a uma pessoa, como, por exemplo, o proprietário, o chefe de produção, ou mesmo o contador. Esta pessoa deverá aprender a manipular o proble

ma, quando for necessário, coisa que ocorrerá algumas vezes no ano.

b-) Contratar os serviços de uma firma de consultoria ad ministrativa ou técnica.

4 - EXEMPLO PRÁTICO DE APLICAÇÃO DOS MODELOS DE SUBSTITUIÇÃO.

4.1 - OBJETIVO

Pretende-se, com esse exemplo prático, mostrar a aplicação dos modelos apresentados na parte teórica e que se adaptam ao caso. Toma-se como exemplo uma "Kombi" ano 1970, da frota da UFSC.

4.2 - LEVANTAMENTO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Levantou-se somente os custos que variam com a idade do veículo (custos de manutenção e perda de valor comercial).

4.2.1. - CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Os custos de manutenção foram obtidos através da consulta às fichas de "controle mensal" utilizadas pela Divisão de Comunicações da UFSC. Estas fichas são preenchidas mensalmente para cada veículo e nela constam todas as despesas ocorridas.

O Quadro 4 mostra os custos de manutenção da kombi. Estes custos foram corrigidos através dos "Índices Gerais de Preços" publicados pela "Fundação Getúlio Vargas" na revista "Conjuntura Econômica".

PERÍODO	JUL/70 A JUN/71	JUL/71 A JUN/72	JUL/72 A JUN/73	JUL/73 A JUN/74
CUSTOS DE MANUTENÇÃO (Cr\$)	730,00	1.669,00	3.510,00	7.100,00*

QUADRO 4 - CUSTOS DE MANUTENÇÃO DA KOMBI

* Custo estimado com base na evolução dos custos anteriores.

4.2.2 - PERDA DE VALOR COMERCIAL

Os preços da " Kombi Standard " ano de fabricação 1970, no mercado de veículos usados, foram obtidos por consulta à revista " Quatro Rodas ".

No Quadro 5 constam estes preços.

IDADE EM ANOS	0	1	2	3	4
VALOR DE MERCADO (Cr\$)	13.510,00	12.200,00	12.100,00	11.600,00	11.100,00*

QUADRO 5 - PREÇOS DE MERCADO DAS KOMBIS STANDARD
ANO DE FABRICAÇÃO 1970

* Valor estimado.

4.2.3 - PREÇOS DE AQUISIÇÃO

A Kombi em estudo foi adquirida em julho de 1970 por Cr\$ 13.510,00. Uma Kombi zero km, atualmente

custa, para a UFSC, Cr\$ 19.000,00 .

Estes dados foram obtidos junto ao Departamento ' de Administração Geral - Divisão de Comunicações, da UFSC.

4.2.4 - DADOS DE CARÁTER GERAL

taxa de imposto de renda = 30%

depreciação = 10%, em linha reta

taxa de retorno = utilizou-se a taxa de 22% a.a. que é a taxa de juros dos financiamentos do " FINAME " .

4.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A INFLUÊNCIA DO IMPOSTO DE RENDA NA APLICAÇÃO DOS MODELOS

A finalidade deste item é mostrar como se pode encaminhar o estudo da substituição sob a consideração do imposto de renda. Entretanto, deve ficar claro que para o caso da UFSC não há influência do imposto de renda, por tratar-se de uma entidade federal. Contudo considera-se de utilidade esta parte.

4.3.1 - TAXA DE RETORNO APÓS A INCIDÊNCIA DO IMPOSTO DE RENDA

Sendo :

- X % a.a. - a taxa de retorno antes do imposto de renda
 Y % a.a. - a taxa do imposto de renda
 X' % a.a. - a taxa de retorno após a incidência do imposto de renda.

$$X' = X (1 - Y) . 100$$

ou

$$X' = 0,22 (1 - 0,30) . 100$$

$$X' = 15,4 \% \text{ a.a.}$$

4.3.2 - INFLUÊNCIA DO IMPOSTO DE RENDA

Para efeito do imposto de renda, o lucro ou prejuízo, obtido na venda de um bem, é calculado como a diferença entre o valor da venda e o valor contábil (valor de livro) no mesmo ano.

O Quadro 6 mostra como calcula-se o imposto de renda a pagar sobre os ganhos de capital (coluna (6)). O imposto de renda a pagar, num ano, sobre os ganhos de capital deve ser deduzido do valor que se obteria pela venda do equipamento neste mesmo ano. A partir daí, utiliza-se esta diferença na aplicação dos modelos de substituição.

ANO	DEPRECIACÃO ANUAL Cr\$	VALOR CONTÁBIL Cr\$	PREÇO DE MERCADO Cr\$	LUCRO OU PREJUÍZO Cr\$	IMPOSTO RENDA S/ GANHOS DE CAPITAL - Cr\$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (4) - (3)	(6) = 0,3.(5)
1	1.351	12.159	12.200	41	12,3
2	1.351	10.808	12.100	1.292	387,6
3	1.351	9.457	11.600	2.143	642,9
4	1.351	8.106	11.100	2.994	898,2

QUADRO 6 - IMPOSTO DE RENDA A PAGAR SOBRE OS GANHOS DE CAPITAL

4.4 - APLICAÇÃO DOS MODELOS4.4.1 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE

Para aplicar este método da Engenharia Econômica são consideradas as seguintes alternativas :

1ª ALTERNATIVA - Utilizar o veículo velho (Kombi) por mais um ano. Nesta alternativa tem-se:

- valor de revenda da Kombi no momento atual =
Cr\$ 11.600,00

- valor de revenda da Kombi com mais um ano de uso =
Cr\$ 11.100,00

- custo de manutenção para mais um ano de funcionamento = Cr\$ 7.100,00

2ª ALTERNATIVA - Substituir a Kombi velha por uma nova.

Para esta alternativa deve-se considerar :

- preço de aquisição de uma Kombi nova = Cr\$ 19.000,00
- valor de mercado estimado para o veículo transcorridos 4 anos de uso = Cr\$ 8.000,00
- custo de manutenção : os mesmos do Quadro 4.

Pode-se notar, pela análise das alternativas que o problema é o da substituição de equipamentos idênticos (substituição de igual por igual).

A aplicação do método consiste na determinação do custo anual equivalente à soma custo de recuperação do capital com os custos de manutenção do veículo. Desta forma, tem-se :

$$CAE = (C - R) \left[FRC(i, n) \right] + R \cdot i + \left[\sum_{j=1}^n CM(j) \cdot FVAPU(i, j) \right] FRC(i, n)$$

onde :

FVAPU(i, j) = fator de valor atual pagamento único

FRC (i, n) = fator de recuperação do capital

CM (j) = custo de manutenção no ano j

C = custo inicial do equipamento

R = valor residual ou valor de mercado

Aplicando-se a fórmula acima em cada alternativa ,
tem-se :

a-) para a 1ª alternativa :

$$\begin{aligned} \text{CAE} &= (11.600 - 11.100) \text{FRC}(22\%,1) + 11.100 \cdot (0,22) + \\ &+ 7.100 \cdot \text{FVAPU}(22\%,1) \cdot \text{FRC}(22\%,1) \end{aligned}$$

$$\text{CAE} = 500(1,22) + 11.100(0,22) + 7.100(0,8196)(1,22)$$

$$\text{CAE} = 10.151,38$$

b-) para a 2ª alternativa :

$$\begin{aligned} \text{CAE} &= (19.000 - 8.000)\text{FRC}(22\%,4) + 8.000(0,22) + \\ &+ \left[730 \cdot \text{FVAPU}(22\%,1) + 1.669 \cdot \text{FVAPU}(22\%,2) + \right. \\ &+ \left. 3.510 \cdot \text{FVAPU}(22\%,3) + 7.100 \cdot \text{FVAPU}(22\%,4) \right] \cdot \\ &\cdot \text{FRC}(22\%,4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CAE} &= 11.000(0,401) + 8.000(0,22) + \left[730(0,8196) + \right. \\ &+ \left. 1669(0,6718) + 3510(0,5507) + 7100(0,4514) \right] \cdot \\ &\cdot 0,4010 \end{aligned}$$

$$\text{CAE} = 8920,83$$

A 2ª alternativa apresentou um CUSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE) menor em relação a 1ª alternativa. Portanto, a decisão

a tomar é substituir a Kombi velha por uma nova.

4.4.2 - APLICAÇÃO DO MODELO DO CUSTO ANUAL EQUIVALENTE UNIFORME PARA DETERMINAR A VIDA ÚTIL ECONÔMICA DA KOMBI.

A aplicação deste modelo aparece no QUADRO 7. A vida útil econômica é de 2 (dois) anos, pois, é no 2º ano de vida da Kombi que ocorre o menor "custo anual equivalente uniforme".

4.4.3 - APLICAÇÃO DO MODELO QUE UTILIZA A EQUAÇÃO DE CUSTOS NA FORMA DISCRETA PARA DETERMINAR A VIDA ÚTIL ECONÔMICA.

O QUADRO 8 mostra a forma tabular para encontrar a vida útil econômica da Kombi, através da aplicação deste modelo. Novamente encontrou-se dois anos de vida útil econômica.

ANO (n)	CM(n) (1)	VR(n) (2)	C-VR(n) (3)	FRC(i,n) (4)	(3) x (4) (5)	VR(n) x i (6)	(5) + (6) (7)	FVAPU(i,n) (8)	(1) x (8) (9)	\sum (9) (10)	(10) x (4) (11)	(11) x (12)
1	730	12200	1310	1,2200	1598200	268400	4282200	0,8196	598308	598308	729935	5013,4
2	1669	12100	1410	0,6763	953583	266200	3615583	0,6718	1121234	1719542	1162926	4778,4
3	3510	11600	1910	0,4895	934945	255200	3486945	0,5507	1932957	3652499	1787898	5274,4
4	7100	11100	2410	0,4010	966410	244200	3408410	0,4514	3204940	6857439	2749833	6158,4

QUADRO 7 - FORMA TABULAR PARA DETERMINAR A VIDA ÚTIL ECONÔMICA DA

" KOMBI ", ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MODELO DO CUSTO ANU
AL EQUIVALENTE.

* A vida útil econômica é de 2 (dois) anos.

PERÍODO (i) (1)	D(i) (2)	R (3)	(X) ⁱ (4)	R(X) ⁱ (5)	D(i)X ⁱ (6)	$\sum D(i)(X)^i$ (7)	C-R(X) ⁱ (8)	(7)+(8) (9)	$\sum (X)^i$ (10)	(9)/(10) (11)
1	730	12200	0,8196	9999,12	598308	598308	3510,88	4109,188	08196	501365
2	1669	12100	0,6718	8128,78	1121,234	1719,542	5381,22	7100,762	14914	4761,13*
3	3510	11600	0,5507	6388,12	1932,957	3652,499	7121,88	10774,379	20411	5278,71
4	7100	11100	0,4514	5010,54	3204,940	6857,439	8499,46	15356,899	24925	6161,24

QUADRO 8 - FORMA TABULAR PARA ENCONTRAR A VIDA ÚTIL ECONÔ

MICA DA " KOMBI " , ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MO
DELO QUE UTILIZA A EQUAÇÃO DE CUSTOS NA FORMA
DISCRETA.

* A vida útil econômica é de 2 (dois) anos.

4.4.4 - APLICAÇÃO DO 2º MODELO DE TERBORGHA - OBTENÇÃO DO MÍNIMO ADVERSO DO ATACANTE (MAA)

A obtenção do MAA será feita a través da fórmula (36) e considerando-se um atacante com vida útil de 4 anos, valor residual de Cr\$ 8.000,00 e custo inicial de ... Cr\$ 19.000,00

$$MAA = \frac{n \cdot i \left[C_i + \frac{R(n) \cdot f}{(1+i)^n} \right] - R(n) \cdot (i+f) \cdot \left[1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right]}{n \cdot i + \frac{1}{(1+i)^n} - 1}$$

onde

$$f = 1 - \sqrt[n]{\frac{R(n)}{C}}$$

é a percentagem fixa de depreciação em função da vida útil estimada, do valor residual $R(n)$ estimado para o ano n , e do valor inicial C do equipamento.

Substituindo o valor de n , $R(n)$ e C na fórmula de f , obtém-se :

$$f = 1 - \sqrt[4]{\frac{8.000}{19.000}} = 0,195$$

Substituindo o valor de f , n , $R(n)$, i , e C na fórmula do MAA, obtêm-se:

$$MAA = \frac{4.0,22 \left[19000.0,22 + \frac{8000.0195}{(1,22)^4} \right] - 8000(0,22+0195) \left[1 - \frac{1}{(1,22)^4} \right]}{4.0,22 + \frac{1}{(1,22)^4} - 1}$$

Efetuada as operações, obtêm-se :

$$MAA = 7487,21$$

B - OBTENÇÃO DO MÍNIMO ADVERSO DA DEFESA (MAD)

Para obter o MAD considerou-se :

1º - Prolongamento da vida da defesa de 1 (um) ano.

2º - $G(1)$ = Inferioridade operacional do defensor em relação ao seu atacante imediato no ano 1.

$G(1) = 6370$ = A diferença entre 7100 (custo de manutenção do defensor para mais um ano de funcionamento) e 730 (custo de manutenção do atacante para seu 1º ano de funcionamento).

3º - $R(0) = 11\ 600$

4º - $R(n) = R(1) = 11\ 100$

Utiliza-se a equação (30) :

$$\begin{aligned} \text{CIE}(n) &= \text{FRC}(i,n) \cdot \left[\sum_{j=1}^n G(j) \cdot \left[\text{FVA}'(i,j) \right] \right] + \\ &+ \left[R(0) - R(n) \right] \cdot \text{FRC}(i,n) + R(n) \cdot i \end{aligned}$$

Como far-se-á $n = 1$, tem-se

$$\begin{aligned} \text{CIE}(1) &= \text{FRC}(i,1) \cdot \left[G(1) \cdot \text{FVA}'(i,1) \right] + \\ &+ \left[R(0) - R(1) \right] \text{FRC}(i,1) + R(1) \cdot i. \end{aligned}$$

Substituindo os valores, obtêm-se :

$$\begin{aligned} \text{CIE}(1) &= 1,22 \left[6370(0,8196) \right] + \left[11600 - 11100 \right] 1,22 + \\ &+ 11100(0,22) \end{aligned}$$

ou

$$\text{CIE}(1) = 9421,44 = \text{MAD}$$

Então

$$\text{MAD} = 9421,44$$

C - REGRA DE DECISÃO

Obteve-se : $MAA = 7487,21$

$MAD = 9421,44$

Logo, nota-se $MAA < MAD$, então proceder-se-á a substituição do defensor pelo atacante, isto é, substituir-se-á a Kombi velha por uma nova. Se ocorrer-se $MAA > MAD$, não haveria substituição e um novo estudo deveria ser efetuado no próximo ano.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se, quanto à escolha da taxa de retorno, que seja feito um estudo rigoroso e detalhado, para evitar resultados falsos os quais tornam a política de substituição inadequada.

Recomenda-se que seja examinada cuidadosamente a influência da inflação nos estudos de substituição. Os custos históricos, tomados como base para estimativas ou mesmo para o próprio estudo, devem sofrer correção monetária.

Recomenda-se efetuar o estudo da substituição antes e depois da incidência do imposto de renda.

Recomenda-se a utilização de um método de depreciação que, embora não se confundindo com a perda de valor do equipamento, permita que a depreciação se aproxime ao máximo da perda para que se possa trabalhar com custos reais.

Conclui-se que na "substituição encarada como decisão entre alternativas" o método do custo anual equivalente é mais geral e simples.

Conclui-se, na "substituição considerando a vida útil econômica", que o "método do custo anual equivalente uniforme" e o "modelo de substituição utilizando a equação de custos na forma discreta", são os mais indicados para a determi-

nação da vida útil econômica de um equipamento, por serem de mais simples aplicação. Contudo não se elimina a validade do "modelo de substituição baseado na maximização do lucro" e do "modelo de substituição utilizando a equação de custo na forma contínua". São, estes últimos, complexos e duvidosos no que se refere à determinação das funções receita ($R(t)$) e despesas ($D(t)$). Porém recomenda-se, entre os dois, o da equação de custo na forma contínua.

Conclui-se, quanto a utilização dos modelos levam em consideração o progresso tecnológico, que pelo fato de se ter que estimar os gradientes de inferioridade operacional " g " e " $G(j)$ ", não muito conhecidos pelos técnicos, os dois primeiros modelos de Terborgh tornam-se pouco práticos e, pelo fato de se ter que estimar vários elementos para determinar o "IUM", no 3º modelo, este fica menos prático do que os anteriores. Contudo elege-se o segundo modelo de Terborgh como o de mais simples aplicação e de maior precisão.

Conclui-se que o "método do capital planejado" é de grande utilidade e importância. Este método além de permitir a obtenção da vida útil econômica do equipamento em uso, torna possível a comparação do projeto em substituição com os demais projetos de investimento da empresa.

Recomenda-se que não sejam tiradas conclusões gerais e definitivas sobre o exemplo prático de aplicação apresentado. Embora todos os dados sejam reais, as conclusões não devem

ser tomadas ao pé da letra. As condições variam bastante e cabe a cada empresa adaptar a política a sua situação particular.

A N E X O S

ANEXO A

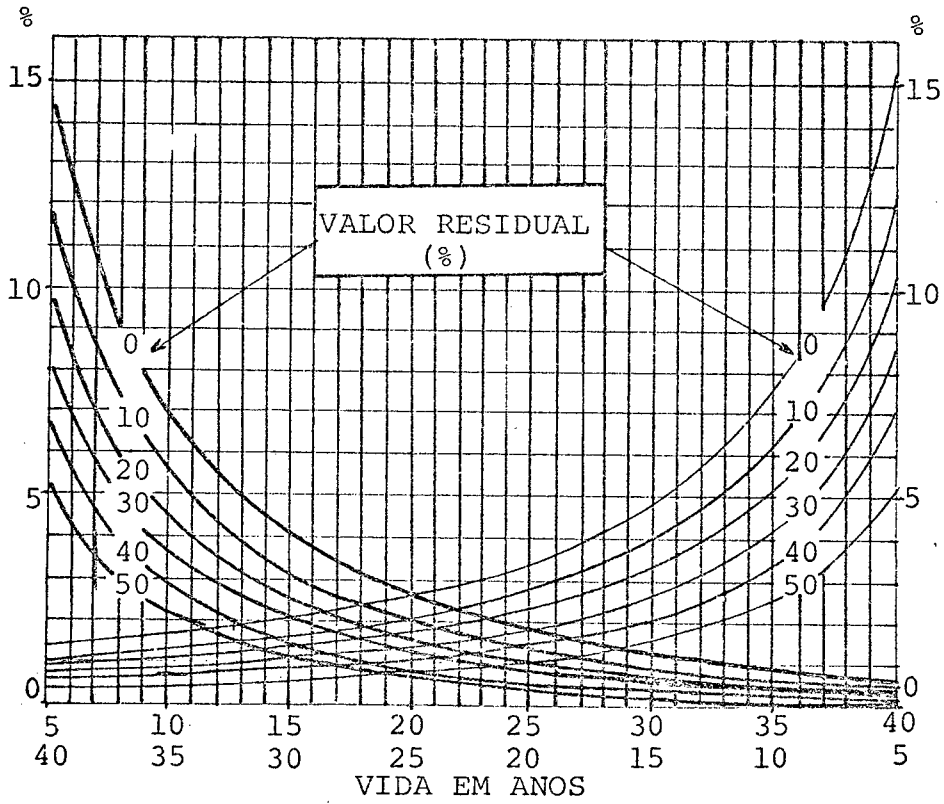


GRÁFICO MAPI Nº 1 - PARA MODELO DE PROJEÇÃO "STANDARD"

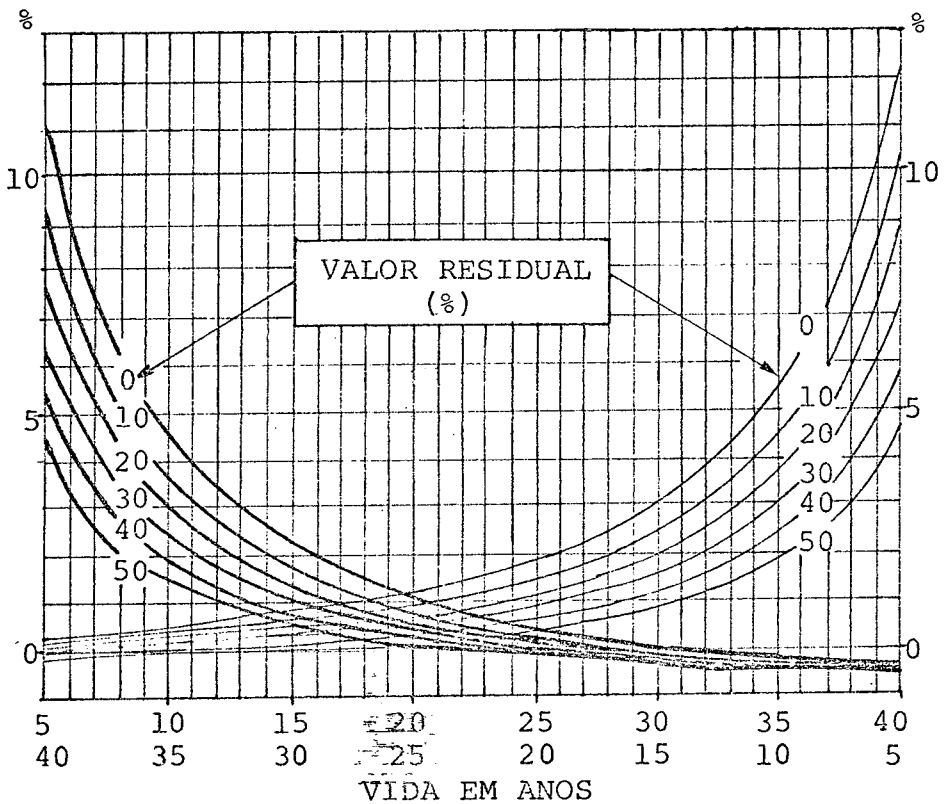


GRÁFICO MAPI Nº 2 - PARA MODELO DA MUDANÇA ACELERADA NO FIM DA VIDA

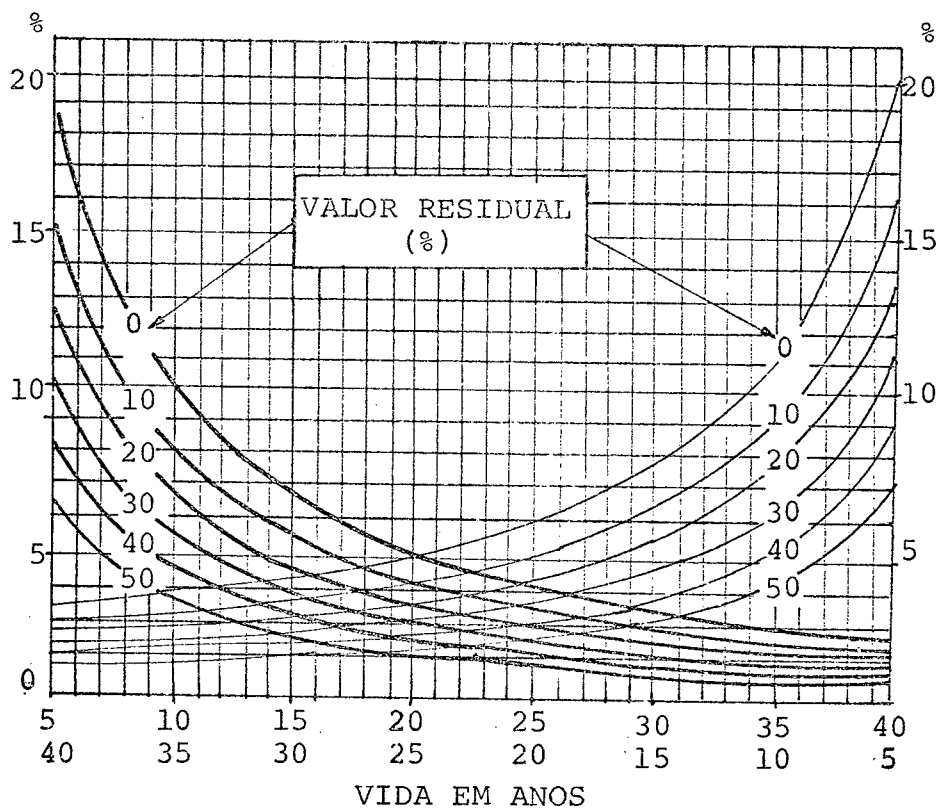


GRÁFICO MAPI Nº 3 - PARA MODELO DE MUDANÇA ACELERADA INICIAL

INSTRUÇÕES

1. Use as curvas mais grossas para os métodos de depreciação da soma dos dígitos ou exponencial razão dupla. Use as curvas leves para o método de depreciação da linha reta.
2. Localize os anos previstos de vida no eixo horizontal, lendo da esquerda para a direita, se forem usadas as curvas grossas; da direita para a esquerda para as curvas leves.
3. Trace uma linha reta para cima, até a curva apropriada do valor residual. A partir daí leia a percentagem na escala vertical.

A N E X O B

PORTARIA Nº 1 DE 12 DE JANEIRO DE 1973

O Ministro do Planejamento e Coordenação Geral, no uso de suas atribuições, nos termos dos artigos 5º do Decreto número 53.914, de 11 de maio de 1964, 209 do Decreto-lei número 200, de 25 de fevereiro de 1967 e 7º da Lei nº 5.344, de 12 de outubro de 1967, resolve :

Fixar os coeficientes constantes da tabela anexa, para correção do ativo mobilizado das pessoas jurídicas, nos termos da Lei número 4.357, de 16 de julho de 1964.

Determinar que o presente ato vigore de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1973. João Paulo dos Reis Velloso, Ministro.

COEFICIENTES PARA CORREÇÃO MONETÁRIA DO ATIVO IMOBILIZADO.
REFERENTE AO ANO FISCAL DE 1972.

ANOS	COEFICIENTES	ANOS	COEFICIENTES	ANOS	COEFICIENTES
1938	1.018,42	1950	266,03	1962	20,18
1939	963,36	1951	220,17	1963	9,16
1940	908,19	1952	201,84	1964	5,27
1941	825,71	1953	174,36	1965	4,14
1942	669,74	1954	137,61	1966	3,03
1943	578,03	1955	119,25	1967	2,47
1944	504,61	1956	100,92	1968	1,98
1945	431,20	1957	91,76	1969	1,66
1946	376,16	1958	77,98	1970	1,40
1947	348,61	1959	56,86	1971	1,16
1948	330,29	1960	43,16	1972	1,00
1949	302,71	1961	31,20		

B I B L I O G R A F I A

- 1 - KAUFMANN, A. - METODOS Y MODELOS DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES - Compañía Editorial Continental, S.A. - España 1971, TOMO I
- 2 - SASIENI, M.; YASPLAN, A.; FRIEDMANN, L. - INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES, MÉTODOS Y PROBLEMAS, Editorial Limusa Wiley S.A., Mexico, 1967.
- 3 - GRANT, Eugene L.; IRESON; W. Grant - Principles of Engineering Economy, Fourth Edition, The Ronald Press Company, New York, 1964.
- 4 - BULLINGER, Clarence E. - ENGINEERING ECONOMY, Third Edition ' McGraw-Hill Book Company, Inc, New York, 1958.
- 5 - DE GARMO, E. Paul - ENGINEERING ECONOMY, The MacMillan Company, New York, 1969.
- 6 - MASSÉ, Pierre, - OPTIMAL INVESTMENT DECISIONS, Rules for Action and Criteria for Choise, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.
- 7 - ACKOFF, R.L. - PROGRESS IN OPERATIONS RESEARCH, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1961, Volume I, number 5, chapter 8.
- 8 - MACHILINE; MOTTA; SHOEPS; WEIL - MANUAL DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, 2ª Edição, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1971, Vol. 1.
- 9 - FABRYCKY, W.J.; TORGERSEN, P.E. - OPERATIONS ECONOMY: INDUSTRIAL APPLICATIONS OF OPERATIONS RESEARCH, Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1966.
- 10 - ACKOFF, R.L.; SASIENI, M. W. - FUNDAMENTALS OF OPERATIONS RESEARCH, John Wiley & Sons, Inc., London, 1967.
- 11 - CHURCHMAN, C.W.; ACKOFF, R.L.; ARNOFF, E.L. - INTRODUCTION TO OPERATIONS RESEARCH, John Wiley & Sons, Inc., London, 1956.
- 12 - THUESEN, H.G.; FABRYCKY, W.J. - ENGINEERING ECONOMY, Third Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1964.

- 13 - FARO, - Clovis de - MATEMÁTICA FINANCEIRA, 4ª Edição, APEC, Rio de Janeiro, 1970.
- 14 - FLEISCHER, G.A. - CAPITAL ALLOCATION THEORY: THE STUDY OF INVESTMENT DECISIONS - Meredith Corporation - New York, 1969.
- 15 - BOWMAN, E.H.; FETTER, R.B. - ANALYSIS FOR PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT., Third Edition, Richard D. Irwin Inc., - Homewood, Illinois, 1967.
- 16 - DEAN, Joel - CAPITAL BUDGETING, Columbia University Press, New York, 1951.
- 17 - VALLE, José Antonio de Freitas - MÉTODOS MATEMÁTICOS NO ESTABELECIMENTO DA POLÍTICA DE SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS; PUC, Rio de Janeiro, 1970.
- 18 - STARR, Martin K. - ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO. SISTEMAS E SÍNTESES, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1971.
- 19 - SCHWAN, H.T. - MAYNARD MANUAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1970, Seção 8, Instalações Industriais.
- 20 - PUCCINI, Abelardo; HESS, G., MARQUES, J.L.M.; PAES, L.C.R. - ENGENHARIA ECONÔMICA E ANÁLISE DE INVESTIMENTOS, PUC, Rio de Janeiro, 1969.
- 21 - BARROS, Sérgio Thenn de - CUSTO DE OPERAÇÃO DE MÁQUINAS DE CONSTRUÇÃO, Revista Engenheiro Moderno, Ago. de 1965.
- 22 - GEORGE, Claude S. Jr. - MANAGEMENT IN INDUSTRY, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, 1967, Second Edition.
- 23 - PREINREICH, G.A.D. - ECONOMÉTRICA : THE ECONOMIC LIFE OF INDUSTRIAL EQUIPMENT, Jan 1940, Nº 8.
- 24 - SOUTHWORTH, R.W.; DELEEUW, L.D. - DIGITAL COMPUTATION AND NUMERICAL METHODS, McGraw-Hill, New York, 1965.
- 25 - SAMUEL, M. Selby - STANDARD MATHEMATICAL TABLES, The Chemical Rubber Co., Ohio, 1969.