

3.2. Análise Econômica da Energia

3.2.1. Conceitos Iniciais

3.2.1.1. Custo de Oportunidade e Custo do Capital

O *Custo de Oportunidade* pode ser definido como o que se deixa de ganhar por não se poder fazer o investimento correspondente àquela oportunidade. O custo de oportunidade depende das oportunidades existentes sendo que essas oportunidades podem ser diferentes de um indivíduo para outro. Por exemplo, se um banco pagar 20% ao ano de juros significa que ao se optar por não aplicar o dinheiro no banco, o seu custo de oportunidade será de 20%.

O *Custo do Capital* pode ser definido como o preço que a empresa paga pelos fundos obtidos junto às suas fontes de capital. Outra forma de se definir é como sendo a taxa mínima que os projetos de investimentos devem oferecer como retorno.

3.2.1.2. Taxa de Desconto, Valor Presente, Valor Futuro, FRC

A *Taxa de Desconto* se refere à taxa de juros ou ao custo de oportunidade, não cabendo aqui fazer uma distinção conceitual entre esses dois termos.

A taxa de desconto é importante na avaliação de determinadas opções pois permite compará-las quantitativamente quando envolve valores gastos ou economizados em diferentes datas.

Frequentemente, nas avaliações energéticas, é utilizado uma taxa de desconto de 10% ao ano.

Quando há inflação deve-se utilizar uma taxa de desconto combinada j que leva em consideração a taxa de inflação f e a taxa de desconto real i . A equação é dada por:

$$(1 + j) = (1 + i) * (1 + f)$$

Seja uma quantia V_a aplicada a uma taxa de desconto i num determinado período. Ao final do período ter-se-á um valor V_F dado por:

$$V_F = V_A * (1 + i)$$

O valor V_A é chamado de *Valor Presente* ou atual e o valor V_F é chamado de *Valor Futuro*.

Outro conceito utilizado também é o *Fator de Recuperação de Capital (FRC)*, que é mostrado abaixo:

Dado uma receita V_f , ao final de N períodos e a uma taxa de desconto i por período, então o valor atual V_a dessa receita na data zero será dado por:

$$V_A = V_F * (1 + i)^{-N}$$

O fator $1/(1 + i)^N$ é chamado de fator de recuperação de capital. Assim, tem-se:

$$V_A = FRC * V_F$$

Seja uma sequência de N pagamentos (A_1, A_2, \dots, A_N), o FRC neste caso será dado por:

$$FRC(i, N) = \frac{1}{\sum_{n=1}^N (1+i)^{-n}} = \frac{i}{[1 - (1+i)^{-N}]}$$

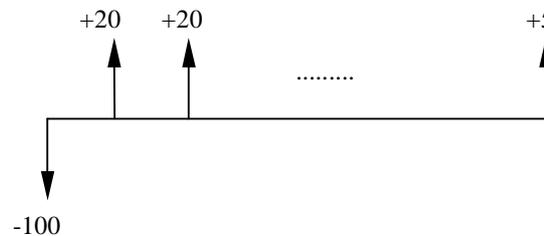
3.2.1.3. Juros Compostos, Fluxo de Caixa

Os *Juros Compostos* ocorrem quando os juros para cada período forem baseados na quantia total devida ao término do período anterior incluindo o principal inicial mais os juros acumulados que não foram pagos.

A relação entre um valor presente e um futuro ao fim de N períodos é:

$$V_F = V_A * (1 + i)^N$$

O *Fluxo de Caixa* indica o desembolso e reembolso de capital ao longo de um determinado período, ou seja, o fluxo de despesas e receitas. Uma forma esquemática de representar o fluxo de caixa é mostrada abaixo:



3.2.2. Custos Envolvidos

Quando se deseja fazer uma avaliação econômica de um determinado investimento é preciso conhecer primeiramente todos os custos envolvidos nesse investimento.

Assim, no caso de investimentos em eficiência energética, pode-se identificar os seguintes custos:

$$CT = CI + CE + CMO$$

onde tem-se:

CT : *CUSTO TOTAL* - é o custo final do investimento;

CI : *CUSTOS DE INVESTIMENTO* - refere-se aos custos de aquisição de componentes, equipamentos e acessórios. Inclui-se aqui além dos custos iniciais de aquisição e também os custos com reposição, quando se aplicar;

CE : *CUSTOS DE ENERGIA* - refere-se aos custos com consumo de energia elétrica;

CMO : *CUSTOS DE MÃO-DE-OBRA* - refere-se aos custos com mão de obra empregada para a instalação, operação e manutenção.

Nas fórmulas que serão apresentadas a seguir serão considerados apenas os custos de investimento e os de energia. Porém, para uma avaliação mais detalhada deverá ser considerado também os custos com mão de obra.

Também será considerado o custo de energia da seguinte forma:

$$CE = PE * E$$

onde:

PE = Preço da energia

E = Energia consumida anualmente

3.2.3. Simbologia Utilizada

Abaixo é descrita a simbologia que é utilizada nas fórmulas apresentadas neste texto.

CC : Custo (investimento inicial) da tecnologia convencional;

CCA : Custo do Ciclo de Vida Anualizado;

CCV : Custo do Ciclo de Vida;

CE : Custo da tecnologia eficiente;

CEE : Custo da Energia Economizada;

CI : Custo do Investimento Inicial;

CMO : Custo da mão de obra;

CT : Custo total;

EC : Energia anual consumida com a tecnologia convencional;

EE : Energia anual consumida com a tecnologia eficiente;

FRC : Fator de Recuperação de Capital;

G : Ganhos anuais (redução nos custos operacionais);

i : Taxa de desconto;

N : Número de períodos considerados (meses, anos);

PE : Preço da energia;

PP : Período de PayBack (Tempo de Retorno);

TIR : Taxa Interna de Retorno;

V_A : Valor presente ou valor atual;

V_F : Valor futuro;

3.2.4. Métodos de Avaliação

A seguir são discutidos os principais métodos de avaliação e seleção de alternativas de conservação de energia. Algumas metodologias são mais específicas para essa área de eficiência energética como, por exemplo, o custo do ciclo de vida e o custo da energia economizada.

3.2.4.1. Tempo de Retorno – Payback

Este é, talvez o método mais utilizado nos diagnósticos energéticos, isto porque trata-se do método mais simples de avaliação, apresentando poucos cálculos e um conceito fácil de ser assimilado.

O período de payback ou de retorno pode ser definido como sendo o número de períodos (meses ou anos) necessários para que o desembolso correspondente ao investimento inicial seja recuperado. Outra forma de se entender é como sendo o espaço de tempo entre o início do projeto e o momento em que o fluxo de caixa acumulado torna-se positivo.

No entanto, este método apresenta algumas deficiências como, por exemplo:

- não leva em conta os fluxos de caixa que ocorrem após o final do período;
- não leva em conta o “valor do dinheiro no tempo”.

O período de payback pode ser dado pela fórmula:

$$PP = \frac{CI}{G}$$

Particularizando para os investimentos em eficiência energética, chega-se a:

$$PP = \frac{CE - CC}{PE(EE - EC)}$$

3.2.4.2. Taxa Interna de Retorno – TIR

Este é um método de fluxo de caixa descontado no qual determina-se a taxa de desconto igualando-se o valor atual líquido dos fluxos de caixa de um projeto a zero. Trata-se da taxa que faz com que o valor atual das entradas seja igual ao valor atual das saídas.

Essa taxa obtida deve ser confrontada com uma taxa que represente o custo de capital da empresa. A taxa mínima tipicamente usada é em torno de 10 a 15 %.

O processo de cálculo é por tentativa e erro até obter-se uma boa aproximação da taxa que torna o valor atual líquido igual a zero.

Para avaliar um projeto sob o ponto de vista da eficiência energética, e considerando a mesma simbologia utilizada anteriormente para um projeto com tecnologia convencional e outro com tecnologia eficiente, teremos a seguinte equação:

$$CC + PE * EC * \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n} = CE + PE * EE * \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n}$$

Rearranjando a equação, temos:

$$PE * (EE - EC) * \sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n} = (CE - CC)$$

$$(CE - CC) * FRC(i, N) = PE(EE - EC)$$

$$FRC(i, N) = \frac{PE * (EE - EC)}{CE - CC}$$

Para a aplicação direta dessa fórmula, os equipamentos devem ter a mesma vida útil. Para o caso em que isso não ocorrer, deve-se aplicar o conceito apresentado anteriormente, ou seja, determina-se o valor presente de cada alternativa respeitando os períodos (vida útil) de cada componente e iguala-se esses valores presentes para se obter a TIR, por iteração.

Um caso desse é apresentado no exemplo 2.B.

3.2.4.3. Custo da Energia Economizada – CEE

Este método é aplicado especialmente para investimentos em conservação de energia.

O CEE toma como dados a taxa de desconto e a vida útil do investimento. Ele é calculado dividindo-se o custo inicial extra anualizado pela economia de energia obtida pela alternativa eficiente também anualizado. A expressão é mostrada abaixo:

$$CEE = FRC(i, N) * \frac{CE - CC}{EC - EE}$$

Neste caso o preço da energia não precisa ser especificado. O custo da energia economizada calculada aqui pode ser comparado com o preço da energia. Se o CEE for abaixo do preço da energia, indica que o projeto com a tecnologia eficiente é interessante.

3.2.4.4. Custo do Ciclo de Vida – CCV

O Custo do Ciclo de Vida de uma alternativa de investimento é o valor presente de todos os gastos relativos à essa alternativa. É dado pela seguinte fórmula:

$$CCV = CI + \frac{PE * E}{FRC(i, N)}$$

O CCV faz uma comparação direta entre várias alternativas. O CCV de cada alternativa com a mesma vida útil é calculado e a opção que apresentar o menor custo do ciclo de vida é a mais atrativa.

A limitação desse método é o fato de comparar somente alternativas com mesma vida útil. Essa limitação pode ser resolvida aplicando o método descrito a seguir.

3.2.4.5. Custo do Ciclo de Vida Anualizado – CVA

O Custo do Ciclo de Vida Anualizado (CVA) é dado pelo valor anualizado do investimento inicial e o custo da energia anual. É dado pela fórmula:

$$CVA = CI * FRC(i, N) + PE * E$$

Comparando essa equação com a anterior pode-se notar que:

$$CVA = CCV * FRC(i, N)$$

Este método oferece uma grande vantagem em relação ao método anterior que é o fato de poder comparar várias alternativas com vida úteis diferentes. Isso é particularmente importante quando se trata de analisar alternativas de tecnologias eficientes de iluminação. Por exemplo, ao se comparar os reatores eletrônicos e convencionais, lâmpadas fluorescentes e incandescentes e diversos outros componentes que apresentam vida úteis diferentes.

3.2.5. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade tem por finalidade auxiliar uma tomada de decisão, ao se examinarem eventuais alterações dos valores do Payback, TIR, CEE, CCV ou CCA, decorrentes de variações nos valores dos parâmetros envolvidos.

Para isso varia-se, por exemplo, a taxa de desconto para mais e para menos do valor esperado, verificando como se comporta o fluxo de caixa. Se uma pequena variação no parâmetro produz uma grande alteração no valor do fluxo de caixa, diz-se que a decisão a ser tomada é sensível à variação desse parâmetro.

Esse tipo de análise é bastante útil quando se pretende levar em conta o fator incerteza, na avaliação das alternativas de investimento.

Em geral, nesse tipo de investimento, os parâmetros que devem ser variados são: a taxa de desconto e os preços dos componentes.

Assim, por exemplo, valores diferentes de taxa de desconto podem conduzir a decisões diferentes visto que uma alternativa que se mostrava menos viável antes pode tornar-se mais atrativa com uma nova taxa de desconto.

Da mesma forma, pode-se verificar a partir de qual preço do equipamento mais eficiente torna-se viável a sua utilização em relação ao menos eficiente.

No capítulo de exemplos será feita uma análise desse tipo utilizando-se do método do Custo do Ciclo de Vida.

3.2.6. Considerações Adicionais

Ao se realizar uma análise de investimento mais detalhada, algumas informações adicionais devem ser levadas em consideração:

- Equipamentos e Infra-Estrutura

A análise do investimento será obtida a partir do projeto básico analisado e de suas alternativas a serem estudadas. Devem ser considerados nesta análise os principais aspectos sobre equipamentos, obras civis, acessórios, combustível, montagem, manutenção, ligações elétricas e mão de obra.

Quando se estuda a implantação de um novo projeto e todas alternativas que se apresentam referem-se a equipamentos novos, a decisão sobre o tipo mais atrativo de equipamento poderá ser tomada utilizando os métodos de análise de investimento da maneira como exemplificado anteriormente.

A mesma situação ocorre quando se deseja substituir um equipamento que já esteja no final de sua vida útil. Compara-se a atratividade da aquisição de um equipamento idêntico ao anterior com a atratividade de um que permita melhorias no processo produtivo e desta forma decidir se a troca é ou não vantajosa.

Não se deve esquecer que na avaliação da atratividade da introdução de um novo conceito produtivo na unidade deve-se considerar apenas a parcela adicional correspondente à esta nova tecnologia

Quando o objeto de estudo é no entanto a substituição de um equipamento operativo ainda não totalmente depreciado, deve-se computar a eventual receita com a alienação do equipamento existente. O valor residual do equipamento substituído não deve ser desconsiderado nesta análise mesmo que este esteja no final de sua vida útil.

A inclusão desta parcela poderá reduzir a necessidade de desembolso, melhorando a atratividade do novo investimento.

No caso de uma reforma, verifique junto ao fabricante do equipamento a possibilidade técnica do atendimento das novas necessidades da unidade e se o custo é aceitável.

A escolha da melhor alternativa apresentada depende das características inerentes ao seu processo produtivo, portanto, após a determinação da opção que melhor se adapte ao seu sistema, assuma este valor como sendo o investimento em equipamentos.

Para a instalação dos equipamentos é necessária uma estimativa do investimento em obras civis. No caso de equipamentos já existentes deve-se primeiro verificar se as atuais estruturas civis atendem às novas necessidades do sistema e se sua localização é satisfatória.

No caso de equipamentos que estão entrando no processo, o valor adotado neste trabalho para obras civis é de até 5% sobre o respectivo investimento. Faça uma análise e estime este valor dentro das condições de seu estudo.

Os acessórios básicos necessários à operação dos equipamentos, normalmente estão incluídos em seus preços. Se for necessário adquirir algum item de controle particular ao processo, este valor deverá ser estimado pelo

usuário e admitido como investimento em acessórios.

A montagem implica em um custo que pode ser estimado em aproximadamente 10% do valor do investimento de cada equipamento.

- Custos Operacionais

Deve-se levar em consideração, quando houver troca ou reforma de equipamentos a diferença dos rendimentos, pois esta variável poderá compensar o novo consumo energético do sistema proposto.

Verifique a possibilidade de se utilizar combustíveis com maior segurança no fornecimento, preços mais estáveis e que sejam mais eficientes e adequados aos sistemas, pois a qualidade do insumo influirá de forma decisiva no desempenho e na durabilidade.

A análise do investimento em combustível referente ao sistema introduzido no processo deve caracterizar exclusivamente a parcela correspondente a introdução da nova unidade. Deve representar a sua sazonalidade, os novos custos inerentes ao sistema ou a mudança do insumo e, se houver, o seu acréscimo.

Os equipamentos exigem, normalmente, uma manutenção simples, porém cuidadosa. Para esse estudo recomenda-se adotar o valor de 2% ao ano sobre o investimento do respectivo equipamento.

Em equipamentos já existentes no processo produtivo, este valor será a diferença do custo de manutenção do atual, em relação ao instalado em virtude do novo sistema. Em casos especiais, o número deverá ser determinado pelo usuário para que as particularidades do processo fiquem representadas.

Um detalhado estudo da configuração e localização do sistema, pode significar na hora da manutenção, substituição de equipamentos e mesmo de operação, significativos ganhos tanto no que se refere ao tempo, como aos custos.

Para a operação do novo sistema será necessário uma avaliação no que se refere à mão de obra. Isto poderá implicar em um custo adicional anual com a contratação ou um custo fixo com o treinamento de funcionários da unidade.

- Impostos

Quando a receita obtida em um projeto é oriunda da redução do consumo de energéticos, deve-se lembrar que juntamente com a economia no fornecimento da energia obtém-se uma economia no pagamento dos impostos associados à comercialização daquele energético. A receita deve ser então calculada incluindo-se os impostos respectivos. Exceção deve ser feita a indústrias que utilizam o energético como insumo, pois neste caso o imposto será automaticamente compensado.

Vale a pena lembrar também que o resultado em cada exercício fiscal, oriundo das melhorias obtidas com o projeto, irá aumentar o rendimento tributável e será portanto sujeito à taxação pelo imposto de renda. O rendimento líquido após o imposto de renda, que aumentará o patrimônio da empresa e poderá ser distribuído aos acionistas, será desta maneira inferior à simples economia que o projeto irá proporcionar.

- Depreciação

Ao se calcular o fluxo de caixa de um projeto não se deve esquecer a receita oriunda da depreciação contábil do equipamento. A depreciação é um dispositivo fiscal que permite computar a desvalorização do ativo fixo ao longo de sua vida útil, reduzindo o lucro líquido antes do imposto de renda. Como a redução do lucro é apenas contábil, não havendo desembolso real de recursos, a depreciação é encarada como receita nas análises de investimentos.

Existe legislação específica que estabelece a vida útil de cada tipo de equipamento para fins contábeis, e por consequência a taxa de depreciação.

- Inflação

O cômputo da inflação durante o período de análise de um investimento é revestido de uma grande incerteza quanto aos valores que ela poderá assumir. Quando se considera que os preços de venda dos bens ou serviços da empresa irão acompanhar os mesmos índices que corrigem os preços dos insumos e aplicações financeiras, a ocorrência da inflação não é no entanto computada nas análises de investimento. Os valores do fluxo de caixa são referidos a uma mesma data base, ou então atrelados a uma moeda forte.

No caso de contratos previamente estabelecidos, que envolvem receitas ou desembolsos relacionados com o projeto sob análise, as eventuais diferenças entre os índices de reajuste e a inflação no mesmo período que puderem ser estimadas deverão ser levadas em consideração. O fluxo de caixa assim ajustado proporcionará dados mais confiáveis, melhorando a precisão da análise econômica.

3.2.7. Exemplos de Aplicação

Exemplo 1 : Refrigerador Eficiente e Convencional

Será analisado aqui o uso de refrigeradores eficientes e convencionais aplicando todos os métodos descritos anteriormente. Os dados assumidos são meramente ilustrativos e visam apenas mostrar a aplicação de cada método.

Dados dos Equipamentos:

<i>TECNOLOGIA</i>	<i>CONVENCIONAL</i>	<i>EFICIENTE</i>
Potência [W]	500	350
Consumo [kWh/ano]	1277	895
Preço [R\$]	700,00	900,00
Tarifa Energia [R\$/kWh]	0,13267	0,13267
Vida útil [anos]	15	15

1.A-) Tempo de Retorno (Payback)

Considerando a fórmula $PP = (CE-CC)/PE*(EC-EE)$ e os seguintes valores:

CE = R\$ 900,00
 CC = R\$ 700,00
 PE = 0,13267 R\$/kWh
 EE = 895 kWh/ano
 EC = 1277 kWh/ano

chega-se então ao resultado: PP = 3,95 anos

Isso significa que daqui a aproximadamente 4 anos você já terá amortizado o investimento adicional que faria hoje se adquirisse o equipamento mais eficiente.

1.B-) Taxa Interna de Retorno

Considerando a fórmula $FRC(i,N) = PE*(EC-EE)/(CE-CC)$, chega-se ao valor:

FRC = 0,25316

mas $FRC = i / [1 - (1 + i)^{-N}]$ e N = 15

$i / [1 - (1 + i)^{-15}] = 0,25316$

Por tentativa tem-se:

i = 24% FRC = 0,24992

i = 25% FRC = 0,25912

Interpolando, temos:

$$\frac{i - 24}{25 - 24} = \frac{0,25316 - 0,24992}{0,25912 - 0,24992}$$

$$i = 24,35\%$$

Se considerarmos o custo de oportunidade como sendo de 10% a.a., então esse investimento mostra-se bastante atrativo uma vez que a taxa de retorno é maior que o custo de oportunidade.

1.C-) Custo da Energia Economizada

Considerando a fórmula $CEE = FRC(i,N)*(CE-CC)/(EC-EE)$ e sendo N = 15 anos,

$i = 10\%$, chega-se então aos seguintes resultados:

$$\begin{aligned} FRC(10\%,15) &= 0,13147 \\ CEE &= 0,06883 \text{ R\$/kWh} \end{aligned}$$

Se considerarmos o preço da energia de 0,13267 R\$/kWh, notamos que é mais viável investir no equipamento eficiente pois o custo da energia economizada é menor que o preço da energia.

1.D-) Custo do Ciclo de Vida

Considerando a fórmula $CCV = CI + [PE \cdot E] / FRC(i,N)$, tem-se:

$$FRC(10\%,15) = 0,13147$$

Para o modelo convencional:

$$\begin{aligned} CI &= \text{R\$ } 700,00 \\ CCV_1 &= \text{R\$ } 1.988,70 \end{aligned}$$

Para o modelo eficiente:

$$\begin{aligned} CI &= \text{R\$ } 900,00 \\ CCV_2 &= \text{R\$ } 1.803,20 \end{aligned}$$

Nota-se que o custo do ciclo de vida do equipamento mais eficiente é menor que o do convencional e, portanto, é a opção mais atrativa.

1.D-) Custo do Ciclo de Vida Anualizado

Para calcular por esse método pode-se utilizar a fórmula $CVA = CI \cdot FRC(i,N) + PE \cdot E$ mas como já foi calculado o CCV, usaremos a fórmula $CVA = CCV \cdot FRC(i,N)$.

Considerando os mesmos dados anteriores, temos:

Para o modelo convencional:

$$CVA_1 = 261,45 \text{ R\$/ano}$$

Para o modelo eficiente:

$$CVA_2 = 237,06 \text{ R\$/ano}$$

Da mesma forma, usando esse método chega-se às mesmas conclusões anteriores mostrando a coerência entre os métodos.

Exemplo 2 : Sistema de Iluminação Eficiente*

Neste exemplo será analisado duas alternativas para um sistema de iluminação, a saber: sistema convencional e sistema eficiente, utilizando-se dos métodos apresentados para fazer a avaliação desse investimento. Novamente, os valores aqui apresentados são apenas ilustrativos e, portanto, visam somente a aplicação e interpretação dos métodos de avaliação.

Será considerado neste exemplo apenas o custo da lâmpada e do reator, não considerando, assim, a luminária.

Especificação dos Sistemas:

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
TIPO DA LÂMPADA	Fluorescente	Fluorescente
Potência [W]	40	32
Nº de lâmpadas	2	2
Preço [R\$]	2,50	4,50
Vida útil [horas]	8000	8000
TIPO DO REATOR	Convencional-duplo	Eletrônico-duplo
Potência [W]	16	0
Nº de reatores	1	1
Preço [R\$]	11,00	35,00
Vida útil [horas]	25.000	50.000
Potência Total [W]	96	64

Dados Adicionais:

Tarifa [R\$/kWh]	0,13267
Horas Utilização [horas/ano]	3696

2.A-) Tempo de Retorno (Payback)

Considerando a fórmula $PP = (CE-CC)/PE*(EC-EE)$ e os seguintes valores:

$$CE = (2*4,50) + (1*35,00) = R\$ 44,00$$

$$CC = (2*2,50) + (1*11,00) = R\$ 16,00$$

$$PE = 0,13267 \text{ R\$/kWh}$$

$$EE = 0,064*3696 = 236,54 \text{ kWh/ano}$$

$$EC = 0,096*3696 = 354,82 \text{ kWh/ano}$$

chega-se então ao resultado: $PP = 1,78$ anos

Isso significa que daqui a aproximadamente 2 anos você já terá amortizado o investimento adicional que faria hoje se adquirisse o sistema mais eficiente.

2.B-) Taxa Interna de Retorno

Neste caso temos componentes com vida úteis diferentes, como o reator. Para usarmos o método do TIR devemos aplicá-lo num intervalo que seja o mínimo múltiplo comum das vidas úteis dos componentes.

Seja o período de utilização de 3696 h/ano, tem-se então a vida útil dos reatores, em anos:

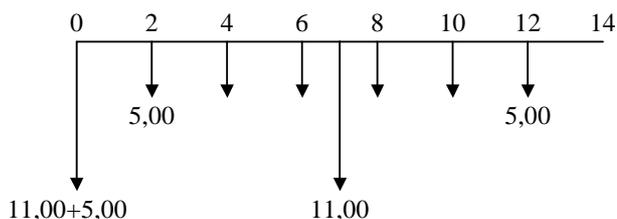
$$\text{Reator convencional} = 25.000/3696 \sim 7 \text{ anos;}$$

$$\text{Reator eletrônico} = 50.000/3696 \sim 14 \text{ anos;}$$

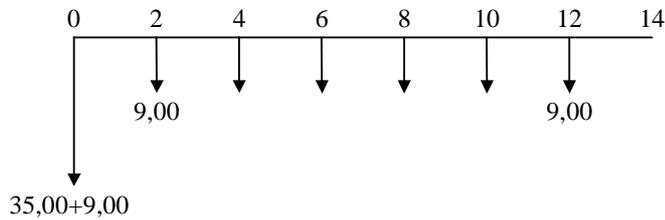
$$\text{Lâmpada} = 8000/3696 \sim 2 \text{ anos.}$$

O período de análise será então de 14 anos já que as lâmpadas não influem por possuírem a mesma vida útil. Teremos então os seguintes fluxos de caixa para cada alternativa:

Alternativa 1 - Convencional



Alternativa 2 - Eficiente



Devemos igualar os valores presentes de cada alternativa. Dessa forma:

$$V_{P1} = 16,00 + 11,00 / (1 + 0,1)^7 + 5,00 / \text{FRC}((1+i)^2 - 1, 6) + 0,13267 * 354,82 / \text{FRC}(i, 14)$$

$$V_{P2} = 44,00 + 9,00 / \text{FRC}((1+i)^2 - 1, 6) + 0,13267 * 236,54 / \text{FRC}(i, 14)$$

Obs.: A taxa de atualização do capital usada para as lâmpadas corresponde ao período de 2 anos, por isso tem-se: $(1+i)^2 - 1$

Assim, temos:

$$11,00 / (1+i)^7 - 4,00 / \text{FRC}((1+i)^2 - 1, 6) + 15,69 / \text{FRC}(i, 14) = 28,00$$

Iterativamente ou por meio computacional, chega-se à:

$$i = 51,33\%$$

Se considerarmos o custo de oportunidade como sendo de 10% a.a., então esse investimento mostra-se bastante atrativo uma vez que a taxa de retorno do capital é maior que o custo de oportunidade.

2.C-) Custo da Energia Economizada

Considerando a fórmula $CEE = \text{FRC}(i, N) * (CE - CC) / (EC - EE)$, temos novamente, na utilização desse método, o problema de equipamentos com vida útil diferente. O procedimento para definir o período de análise é o mesmo que no método anterior e, portanto, será de 14 anos.

Para calcularmos o numerador da relação acima é preciso primeiro encontrar os valores presentes de cada alternativa, subtraí-los e depois anualizá-los dentro do período de análise.

Dessa forma, considerando uma taxa de desconto de 10%, chega-se à expressão abaixo:

$$CEE = \frac{\text{frc}(10\%, 14) * [(44 + 9 / \text{frc}(21\%, 6)) - (16 + 11 / (1 + 0,1)^7 + 5 / \text{frc}(21\%, 6))]}{354,82 - 236,54}$$

Tem-se então aos seguintes resultados:

$$\text{FRC}(10\%, 14) = 0,1357$$

$$\text{FRC}(21\%, 6) = 0,3082$$

$$CEE = 0,04055 \text{ R\$/kWh}$$

Se considerarmos o preço da energia de 0,13267 R\$/kWh, notamos que o custo da energia economizada é bem menor que o preço da energia, o que indica que é mais viável investir no sistema eficiente.

2.D-) Custo do Ciclo de Vida

Este método não se aplica neste caso pois o sistema possui equipamentos com vidas úteis diferentes e, portanto, não podem ser comparadas.

2.D-) Custo do Ciclo de Vida Anualizado

Para calcular por esse método pode-se utilizar a fórmula $CVA = CI * FRC(i, N) + PE * E$
Considerando os mesmos dados anteriores, temos:

Para o modelo convencional:

$$CVA_1 = 11 * FRC(10\%, 7) + 5 * FRC(10\%, 2) + 0,13267 * 354,82$$

$$CVA_1 = 52,21 \text{ R\$/ano}$$

Para o modelo eficiente:

$$CVA_2 = 35 * FRC(10\%, 14) + 9 * FRC(10\%, 2) + 0,13267 * 236,54$$

$$CVA_2 = 41,32 \text{ R\$/ano}$$

Da mesma forma, usando esse método chega-se às mesmas conclusões anteriores mostrando a coerência entre os métodos.

* **Observação:** Para projetos específicos envolvendo apenas sistemas de iluminação pode-se usar também o método do lumens-hora, que fornece o índice de US\$/Mlm.h (dólares por Mega lumen-hora). Este método está indicado na referência [5] e o seu diferencial é o fato de considerar os efeitos da visão escotópica (noturna) ao invés dos efeitos fotópicos (visão diurna), exclusivamente, considerados hoje em dia.

Exemplo 3 : Análise de Sensibilidade

Será feito agora uma análise de sensibilidade utilizando-se os dados do *Exemplo 1*, onde se vai calcular o Custo do Ciclo de Vida de cada equipamento e deseja-se saber o quanto alguns parâmetros influenciam neste custo.

Para isso será variado os seguintes parâmetros:

- **Taxa de desconto:** será considerado taxas de 8%, 10% e 12%, ou seja será variado 20% acima e abaixo do valor assumido nos cálculos.
- **Custo do Equipamento Eficiente (CE):** será considerado uma faixa de custos variando de 10 a 80% acima do custo do equipamento menos eficiente.

O valor que será plotado é a diferença entre os custos dos equipamentos, ou seja:

CCV do equipamento eficiente menos o CCV do equipamento convencional.

$$(CCVe - CCVc)$$

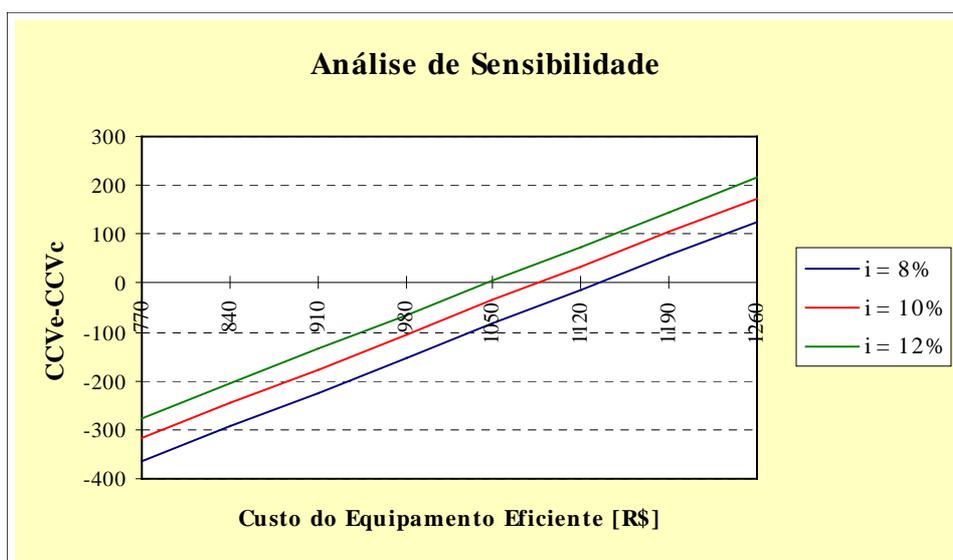


Figura III.1. Análise de Sensibilidade

Interpretação do gráfico:

Pelo gráfico (Figura II.1) notamos que, para uma determinada taxa de desconto, enquanto o valor for negativo significa que é mais atrativo comprar o equipamento mais eficiente pois o seu custo do ciclo de vida é menor que o do equipamento convencional. Quando, a partir de um valor de custo do equipamento eficiente, o valor plotado torna-se positivo, significa que é mais interessante naquele momento adquirir o equipamento convencional.

Por exemplo, para $i = 10\%$, é interessante comprar o equipamento mais eficiente se ele custar no máximo R\$ 1.085,00, considerando que o equipamento convencional custa R\$ 700,00.

Note que pelas curvas traçadas pode-se verificar a influência da taxa de desconto considerada sobre a decisão sobre qual equipamento adquirir.

Referências Bibliográficas

- [1] DUTT, G. S., "Techniques for End-Use Electricity Analysis and Conservation Program Design and Evaluation", Volume A. Princeton, NJ. Junho 1992.
- [2] EHRLICH, P. J., "Engenharia Econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento". Atlas, São Paulo, 1989.
- [3] HIRSCHFELD, H., "Engenharia Econômica e Análise de Custos". Atlas, São Paulo, 1992.
- [4] SANVICENTE, A. Z., "Administração Financeira". Atlas, São Paulo, 1987.
- [5] BURINI, E. C. J., "Racionalização no uso de energia elétrica: a lâmpada incandescente". Dissertação de Mestrado, PIPGE-