

Impacto da Indisponibilidade de Linhas e Equipamentos na Receita dos Sistemas de Transmissão

C. C. Silva, CTEEP; M. R. Gouvêa, EPUSP; E. J. Robba, EPUSP; R. P. Casolari (EPUSP)

Resumo- O trabalho consiste no desenvolvimento de modelo de simulação para aplicação de políticas de manutenção preventiva, que resultam na diminuição de falhas intempestivas de instalações, buscando um equilíbrio entre incremento de custo de manutenção e ganho de receita devida ao aumento de disponibilidade. O trabalho está fundamentado nos preceitos vigentes, pelos quais o ONS remunera os equipamentos pela sua disponibilidade prevista, penalizando a indisponibilidade decorrente da manutenção preventiva e, com maior rigor, as indisponibilidades devidas a falhas intempestivas. Ele foi desenvolvido em 4 etapas: estabelecimento dos conceitos e critérios básicos para análise da indisponibilidade de componentes; desenvolvimento de modelo para avaliação técnico-econômica do comportamento do sistema CTEEP diante de indisponibilidade de instalações; ferramenta computacional para aplicação do modelo e avaliação e ajustes no ambiente desenvolvido.

Palavras-chave - Manutenção corretiva, Manutenção preventiva, Planos de Manutenção, Receita de sistemas de transmissão, Taxas de falhas.

I. OBJETIVO

A CTEEP - Transmissão Paulista tem celebrado com o ONS - Operador Nacional do Sistema um contrato de prestação de serviços de transmissão que prevê, dentre outras cláusulas, a exigência da operação, manutenção e disponibilização das instalações de transmissão da CTEEP de acordo com os procedimentos e padrões especificados nos **Procedimentos de Rede** aprovados pela ANEEL.

Para a prestação deste serviço, o ONS remunera a CTEEP com base na disponibilidade individual dos equipamentos e linhas de transmissão, penalizando as indisponibilidades devidas tanto às manutenções preventivas quanto às falhas intempestivas.

As manutenções corretivas são penalizadas com maior rigor

relativamente às manutenções preventivas, podendo acarretar diminuição significativa na receita auferida pela CTEEP, dependendo das taxas de falhas esperadas para cada componente da rede.

A maximização da receita pelos serviços de transmissão envolve um compromisso entre os dois tipos de manutenção e, tem por objetivo também, maximizar o fundo criado para a reposição dos equipamentos ao final de sua vida útil, de forma a manter a confiabilidade do sistema.

A questão que se coloca, e que se espera como resultado do trabalho, é:

Determinar o conjunto de ações de manutenção preventiva e corretiva, correspondente a um nível esperado de disponibilidade das instalações do sistema de transmissão, que resulte na melhor composição econômica de custo de manutenção, custo de reposição de equipamentos e receita de disponibilidade.

II. METODOLOGIA

A. Etapas de Desenvolvimento

O trabalho foi desenvolvido nas seguintes etapas:

1a Etapa: Levantamentos, Critérios e Hipóteses

Nesta etapa foram realizados levantamentos sobre as áreas cujos fatores integram o ambiente, quais sejam:

- regulação da transmissão;
- operação do sistema;
- manutenção do sistema; e
- custo e amortização dos equipamentos.

Na parte relativa à **Regulação da Transmissão**, é importante destacar a parte contratual referente à remuneração de ativos do sistema de transmissão:

A remuneração mensal do sistema de transmissão é constituída por duas parcelas: uma parcela mensal fixa, RA, que corresponde à remuneração do ativo e a outra variável com a saída de operação de componentes, que corresponde às penalidades, PV.

A parcela RA é dada pela somatória das remunerações referentes a cada um dos componentes, isto é, $RA = \sum RAI$ e a parcela PV representa as deduções levadas a efeito devido aos componentes que resultaram inoperantes por se encontrarem em manutenção, programada ou não programada.

A receita mensal é dada por:

$$Receita = RA - PV$$

A parcela variável (PV) reflete a efetiva condição de disponibilização de cada uma das Instalações de Transmissão, calculadas separadamente, conforme a fórmula abaixo e a metodologia disposta no Contrato de Prestação de Serviços de Transmissão, firmado entre a Transmissora e o ONS.

$$PV = \frac{PB}{24 \times D} \times K_p \times \sum_{i=1}^{NP} DDP_i + \frac{PB}{24 \times D} \times K_o \times \sum_{i=1}^{NO} DOD_i$$

onde:

DDP - Duração, em horas, de cada desligamento programado que ocorra durante o mês. Para desligamentos com duração inferior a 0,5 hora, se adotará $DDP = 0,5$.

DOD - Duração, em horas, de cada um dos outros desligamentos que ocorram durante o mês. Para desligamentos com duração inferior a 0,5 hora, se adotará $DOD = 0,5$.

PB - Parcela mensal do Pagamento Base da instalação.

Kp - Fator para desligamentos programados ($Kp = 10$).

Ko - Fator para outros desligamentos de até cinco horas após o primeiro minuto ($Ko = 150$). O fator será reduzido para ($Ko = 10$) após a quinta hora.

NP - Número de Desligamentos Programados da instalação ao longo do mês.

NO - Número de Outros Desligamentos da instalação ao longo do mês.

D - Número de dias do mês.

Os valores serão estabelecidos considerando o histórico operacional de Concessionárias de Transmissão, para instalações de mesma natureza e classe de tensão.

Na parte relativa à **Operação do Sistema**, o objetivo principal foi o enfoque das taxas de falha dos componentes do sistema da CTEEP e suas correlações com as causas.

A título ilustrativo, a tabela 1 apresenta as taxas de falha (média e desvio-padrão) de linhas de transmissão para o período 1992-2000, para o nível de tensão 440 kV.

Tabela 1 - Taxa de Falha de LTs 440 kV - Circuitos Duplo e Simples

Ano	Número de falhas	Taxa de falha (falha/ano/100 km)	Número de falhas	Taxa de falha (falha/ano/100 km)
	Tipo de estrutura CD Comprimento total 1555,46 km		Tipo de estrutura CS Comprimento total 2961,91 km	
1992	0	0,00000	0	0,00000
1993	1	0,06429	1	0,03376
1994	3	0,19287	2	0,06752
1995	1	0,06429	1	0,03376
1996	2	0,12858	3	0,10128
1997	1	0,06429	3	0,10128
1998	1	0,06429	1	0,03376
1999	1	0,06429	0	0,00000
2000	2	0,12858	4	0,13505
Total	12	0,77148	15	0,50641
	Taxa de falha média 0,08572 Desvio padrão 0,05249		Taxa de falha média 0,05627 Desvio padrão 0,04502	

A tabela 2 apresenta as taxas de falha em função dos índices de criticidade (1 - falhas evitáveis por esforço adicional de manutenção preventiva; 2 - falhas que exigem grande esforço adicional de manutenção preventiva; 3 - falhas inevitáveis, que independem da manutenção preventiva).

Tabela 2 - Taxa de Falha de LTs 440 kV por Índice de Criticidade

Índice de criticidade	Torre CD Circuito duplo		Torre CS Circuito simples	
	Num.ocor.	T.falha	Num.ocor.	T.falha
1	6	0,04286	6	0,02251
2	2	0,01429	1	0,00375
3	4	0,02857	8	0,03001
Total	12	0,08572	15	0,05627

As tabelas 3 e 4 apresentam, respectivamente, as taxas de falha e os tempos de reparo de transformadores (média e desvio-padrão), tomando como base o período 1988-2001, para os níveis de tensão - lado alta tensão - 69, 88, 138, 230 e 440 kV.

Tabela 3 - Taxas de Falha Médias em Transformadores

Tensão (kV)	Taxa falha (falhas/ano)	
	Média	D.padrão
440,00	0,0274	0,0109
230,00	0,0125	0,0198
138,00	0,0351	0,0135
88,00	0,0165	0,0244
69,00	0,0263	0,0271

Tabela 4 - Tempo de Reparo de Transformadores

Tempo de reparo (h)	
Média	D.Padrão
32,5200	21,3852

Na parte relativa à **Manutenção do Sistema**, foram analisados dois tipos de manutenção: *corretiva* (todo serviço executado em um equipamento ou instalação, decorrente de um desligamento forçado, a fim de restabelece-lo à condição satisfatória de operação) e *preventiva* (todo serviço programado de controle, conservação e restauração dos equipamentos e instalações, executado com a finalidade de mantê-los em condições satisfatórias de operação e de prevenir contra possíveis ocorrências que acarretem a sua indisponibilidade).

Existem dois tipos de manutenção preventiva: *parcial* (realizadas periodicamente em determinadas partes do equipamento) e *geral* (realizada periodicamente em todas as partes do equipamento).

A tabela 5 apresenta os custos orientativos envolvidos na manutenção dos equipamentos das subestações.

Tabela 5 - Custo Médio de Manutenção por Equipamento

Equipamentos	Nº de Equip	Custo Médio por Manutenção (R\$)			
		Corretiva	Preventiva		
			Parcial	Geral	Anual
Disjuntor Ar Comp. >230kV	102	4.240,00	8.600,00	14.330,00	3.350,00
Disjuntor Ar Comp. <=230kV	49	2.970,00	5.350,00	9.220,00	2.100,00
Disjuntor SF6 >230kV	280	2.990,00	6.490,00	9.160,00	2.380,00
Disjuntor SF6 138kV	553	2.030,00	3.250,00	6.850,00	1.380,00
Disjuntor PVO >=69kV	533	1.840,00	3.940,00	6.010,00	1.490,00
Disjuntor PVO 15kV	269	360,00	550,00	870,00	210,00
Disjuntor GVO	885	800,00	1.440,00	2.670,00	580,00
Seccionador >=230kV	503	1.630,00	2.180,00	5.040,00	960,00
Seccionador FT >=230kV	3.135	1.730,00	2.340,00	5.520,00	1.040,00
Transformador de Corrente	3.702	370,00	0,00	780,00	260,00
Transformador de Potencial	1.716	720,00	0,00	1.250,00	140,00
Transformador de Potência/Reator	2.878	2.220,00	2.990,00	5.930,00	2.480,00
Seccionador <230kV	691	880,00	2.090,00	2.080,00	690,00
Seccionador FT <230kV	581	1.220,00	2.300,00	3.570,00	870,00

No item, **Custo e Amortização dos Equipamentos**, o foco situa-se nos custos de investimentos que, basicamente, incluem a amortização das novas instalações e das existentes, bem como da reposição das instalações que atingem seu limite de vida útil e devem ser substituídas. Esses custos devem estar englobados na Receita Anual Permitida Referente à Rede Básica, que a CTEEP recebe pelos serviços de transmissão prestados.

Assim sendo, a partir da vida útil esperada para cada tipo de equipamento e da taxa de remuneração de capital do setor, é possível estabelecer a remuneração mensal que cabe a cada instalação de forma a garantir sua amortização e a necessária reposição ao

final de sua vida útil. Para tanto pode ser aplicado o método sinking fund.

A equação abaixo define o custo anual de investimento, em valor presente, resultante destas duas parcelas:

$$A(i) = R(i) + F(i) = V(i) \times \left[\frac{j \times (1+j)^n}{(1+j)^n - 1} \right]$$

onde:

- A(i) - Custo anual equivalente de um investimento;
- R(i) - Parcela para remunerar o capital;
- F(i) - Parcela para cobrir a depreciação econômica do equipamento;
- V(i) - Capital investido na compra do equipamento;
- j - Taxa anual de atualização do capital;
- n - Vida útil do equipamento.

2ª Etapa: Modelagem do Sistema

Considerando os conceitos e os critérios estabelecidos na etapa anterior, foi desenvolvido um modelo que permitiu avaliar a perda de receita causada por indisponibilidade de linhas e equipamentos.

3ª Etapa: Desenvolvimento de Instrumentos para a Aplicação do Modelo

Nesta etapa foi desenvolvido um ambiente para aplicação do modelo concebido, incluindo ferramentas computacionais, procedimentos de análise, base de dados sobre o sistema e seus recursos operativos, critérios de análise, índices referentes a indisponibilidade de instalações por manutenção por falha/defeito, etc.

4ª Etapa: Aplicação Piloto e Ajustes do Modelo

Foram realizadas aplicações do modelo, utilizando-se o ambiente constituído na etapa anterior. Para tanto, foi feita uma coleta de dados sobre a topologia, características técnicas e operativas do sistema objeto do estudo, bem como dos

demais elementos pertinentes, tais com taxas de indisponibilidade, critérios operativos, etc. Esta aplicação se prestou para a avaliação e ajuste do ambiente de análise desenvolvido.

B. Desenvolvimento do Modelo

O modelo desenvolvido buscou atingir dois objetivos:

1º Objetivo: otimizar a margem obtida a partir da diferença entre a *Receita* advinda da remuneração da disponibilidade de cada uma das instalações consideradas e das *Despesas* resultantes dos custos de manutenção e multas por indisponibilidade das instalações. Portanto, busca-se a maximização da expressão:

$$\text{Margem} = \text{Receita}(\text{instal.}) - \text{Custo}(\text{manut.}) - \text{Multa}(\text{indisp.})$$

O *Custo(manutenção)* é calculado a partir da soma dos custos de manutenção preventiva, resultante de uma programação de ações de manutenção contidas no Plano de Manutenção, e do custo de manutenção corretiva necessárias para eliminar defeitos. É óbvio que, quanto mais ações de manutenção preventiva forem implementadas, é de se esperar que haja menos necessidade de ações de manutenção corretiva.

A *Multa(indisponibilidade)* resulta da soma de 2 parcelas: a primeira resultante do período em que as instalações permanecem fora de serviço para manutenção preventiva e a segunda, resultante da manutenção corretiva. Note que, a multa motivada pela segunda custa cerca de quinze vezes mais do que a multa motivada pela primeira, por um igual período de indisponibilidade.

Assim é estabelecido um compromisso entre o custo associado a um Plano de Manutenção e a busca da maximização da Margem, na medida em que a proposição de um Plano de Manutenção define, de um lado, o nível de manutenção preventiva determinando:

- o custo das ações de manutenção preventiva esperado e;
- o custo de indisponibilidade por manutenção preventiva esperado;

e de outro, define o nível da taxa de falha esperada, determinando :

- o custo de manutenção corretiva esperado e;
- o custo de indisponibilidade por manutenção corretiva esperado.

Desse modo, o modelo proposto é estruturado no cálculo dos valores das Margens esperadas, resultantes de várias propostas de Planos de Manutenção, permitindo assim identificar a melhor solução.

O modelo se fundamenta em registros históricos de taxas de falha de instalações e correspondentes causas, bem como nos custos de manutenção preventiva e corretiva. Isto é, se baseia na relação causa-efeito da aplicação de recursos em manutenção preventiva vis-a-vis ao correspondente impacto nas taxas de falha e de seus resultados econômicos.

Para otimizar a margem de lucro advinda da diferença entre receita e despesas (custos de manutenção e multas por indisponibilidade) foi desenvolvido um módulo no programa que leva em consideração os vários Planos de Manutenção possíveis para as instalações da CTEEP, planos estes que acarretam diferentes taxas de indisponibilidade dessas instalações.

A indisponibilidade de linhas e equipamentos de sistemas de transmissão é consequência de eventos programados e não programados, uma vez que as indisponibilidades podem decorrer de manutenções preventivas ou de ocorrência de falhas/defeitos que determinam a interrupção temporária do serviço desses componentes.

As indisponibilidades intempestivas do sistema são refletidas nas taxas de falha de seus componentes e podem ser mitigadas através de ações que procurem a prevenção/diminuição das causas tanto endógenas quanto exógenas que acarretam a saída dos principais componentes presentes no sistema de

transmissão, como linhas, disjuntores, transformadores e demais instalações associadas.

As indisponibilidades preventivas do sistema estão relacionadas à política de planejamento e execução da manutenção programada com a existência de duas linhas de ações: a primeira relacionada às necessidades de manutenção preventiva de cada tipo de equipamento de acordo com as normas de operação e de manutenção recomendadas pelos fabricantes e preconizadas nas normas técnicas, e a segunda relacionada aos procedimentos para elaboração dos Planos de Manutenção, incluindo o conhecimento das características dos instrumentos disponíveis como técnicas preditivas, intervenções com linha viva, programação das ações respeitando restrições sistêmicas, etc.

2º Objetivo: uma vez definida a melhor solução para o Plano de Manutenção, otimizar a política de substituição de instalações, indicando o momento ideal para esta troca.

O modelo desenvolvido abriga uma proposta para a solução dessa questão, considerando a hipótese de que a taxa de falha e o tempo de reparo das instalações aumentam com a idade das mesmas.

Assim, foi proposto um módulo específico no modelo, em que é avaliado o compromisso entre o crescente valor do custo da manutenção e de multas da indisponibilidade, considerando taxas de falha e tempos de reparo variáveis com o tempo, e o custo da reposição.

Com isso é possível determinar o período de vida útil que resulta na maior Margem produzida por um equipamento ou instalação.

III. RESULTADOS OBTIDOS

O resultado deste projeto e da metodologia desenvolvida para minimizar as perdas de receita decorrentes das indisponibilidades de equipamentos e linhas de transmissão, está consolidada em software especificamente desenvolvido para este fim.

O software permite simular as diversas possibilidades de programações de manutenção preventiva, e em função

destas programações e respectivos custos de manutenção, estimar as perdas de receita decorrentes destas indisponibilidades.

Da mesma forma foi desenvolvida metodologia que a partir das taxas de falhas históricas e da estimativa do crescimento destas taxas, calcula as perdas de receita decorrentes destas falhas.

A totalização das perdas decorrentes das manutenções preventivas e corretivas simuladas, permite obter o valor da perda de receita estimada.

Durante o desenvolvimento dos trabalhos notou-se que, com as informações disponíveis, seria possível se estimar qual a remuneração necessária para se manter determinado ativo do sistema, e ao final de sua vida útil ter condições de repor este ativo mantendo o equilíbrio econômico financeiro para tal substituição.

Esta simulação é realizada a partir da estimativa de vida útil do ativo, dos custos necessários para sua manutenção e das taxas de remuneração de capital.

A título de exemplo são mostradas a seguir simulações de utilização do software em que foram utilizados diversas programações de manutenção.

Os custos apresentados para esta simulação são orientativos e validos apenas para a validação da metodologia desenvolvida.

As análises efetuadas através do modelo desenvolvido levaram à obtenção de dois resultados principais:

a) Aumento das Atividades de Manutenção Preventiva

A viabilidade econômica de redução nas horas envolvidas em manutenção corretiva pelo aumento das atividades de manutenção preventiva foi analisada nos seguintes exemplos:

Linhas de transmissão

Na tabela 6 apresentam-se os resultados para a família de LTs 440 kV com torre de circuito simples. Observa-se

que, em função da menor redução do tempo inoperante por falhas, de 1,68853 h para 1,01534, há possibilidade menor de se aumentar o tempo de manutenção preventiva.

Tabela 6 – Receita Líquida em Função das Taxas de Indisponibilidade de LTs 440 kV

T.falh. (f/ano)	T.rep (h)	Tempo man.preventiva (h/ano)		T.inoper (h/ano)	Custo man.corretiva (R\$/ano)	Custo man.preventiva (R\$/ano)	Rec.líquida (R\$/ano)
		LT Des.	LT viva				
0,0563	30,00	15,00	10,00	1,68853	70230,13	43642,35	2303444,41
Redução da taxa de falha por manutenção preventiva							
0,0338	30,00	20,00	12,50	1,01534	42230,60	58064,80	2317021,49
			15,00			58439,80	2316646,49
			17,50			58814,80	2316271,49
			20,00			59189,80	2315896,49
			22,50			59564,80	2315521,49
			25,00			59939,80	2315146,49
			27,50			60314,80	2314771,49
			30,00			60689,80	2314396,49
			32,50			61064,80	2314021,49
			35,00			61439,80	2313646,49
0,0338	30,00	25,00	12,50	1,01534	42230,60	72112,25	2302974,04
			15,00			72487,25	2302599,04
			17,50			72862,25	2302224,04
			20,00			73237,25	2301849,04
			22,50			73612,25	2301474,04
			25,00			73987,25	2301099,04
			27,50			74362,25	2300724,04
			30,00			74737,25	2300349,04

Os dados da família são:

- Remuneração anual para 100 km: R\$ 2.417.316,90;
- Custo de reposição para 100 km: US\$ 264.100,00;
- Comprimento total de LTs: 2.961,91 km.

Foram assumidos os custos de manutenção a seguir:

- Manutenção corretiva: 200,00 R\$/h;
- Manutenção preventiva com o componente energizado: 150,00 R\$/h (“Linha viva”);
- Manutenção preventiva com o componente desenergizado: 50,00 R\$/h.

Transformadores

Este exemplo de aplicação considera, para cada equipamento, Planos de Manutenção Alternativos ao de Referência. O objetivo é correlacionar as taxas de indisponibilidade por falha ou por manutenção preventiva dos equipamentos do sistema com a receita auferida pela disponibilidade dos mesmos.

O Plano de Manutenção de Referência específica, para cada equipamento, os seguintes parâmetros que serão utilizados na presente análise:

- periodicidade da Manutenção Preventiva Geral (MPPG);
- número de Manutenções Parciais (MPPP) entre cada Manutenção Geral;
- número de horas envolvidas em cada tipo de manutenção.

Para o equipamento "Transformador de Potência" estão previstas:

- periodicidade de MPPG: 1 manutenção a cada 6 anos;
- número de manutenções parciais entre as gerais: 3 (1 manutenção a cada 1,5 ano);
- total de horas por MPPG: 19,3 h;
- total de horas por MPPP: 11,6 h.

Das tabelas 3 e 4, para classe de tensão primária 440 kV, foram obtidos:

- taxa de defeito (média) = 0,0274 falhas/ano;
- taxa de defeito (desvio-padrão) = 0,0109 falhas/ano;
- tempo de reparo (média) = 32,5 h.

Os Planos de Manutenção Alternativos poderiam, por exemplo, alterar o número de Manutenções Parciais entre a Manutenção Geral.

Assim, o Plano de Manutenção Alternativo (Otimista) voltado à diminuição dos custos associados às manutenções preventivas poderia considerar a diminuição de manutenções parciais entre cada geral. Isto deveria acarretar um maior número de falhas do equipamento, resultando numa taxa de defeito maior.

Para a taxa de defeito foi assumido o

valor igual a (média + 1 desvio-padrão). O tempo de reparo do equipamento foi mantido igual ao valor original.

O Plano de Manutenção Alternativo (Conservativo) voltado ao aumento dos custos associados às manutenções preventivas poderia considerar o aumento de manutenções parciais entre cada geral. Isto deveria acarretar um menor número de falhas do equipamento, resultando numa taxa de defeito menor.

Para a taxa de defeito foi assumido o valor igual a (média - 1 desvio-padrão). O tempo de reparo do equipamento foi mantido igual ao valor original.

Foram considerados os seguintes Planos de Manutenção:

- **Referência**
 - MPPG: 1 a cada 6 anos;
 - MPPP: 1 a cada 1,5 ano (3 MPPP entre cada MPPG);
 - Tempo de manutenção por ano: $(11,6 \times 3 + 19,3)/6 = 9,0$ h
 - Taxa de defeito: 0,0274 falhas/ano;
 - Tempo de reparo: 32,5 h;
 - Custo médio anual das manutenções preventivas: R\$ 2.480,00;
 - Custo médio por manutenção corretiva: R\$ 2.220,00.
- **Otimista**
 - MPPG: 1 a cada 6 anos;
 - MPPP: 1 a cada 2 anos (2 MPPP entre cada MPPG);
 - Tempo de manutenção por ano: $(11,6 \times 2 + 19,3)/6 = 7,1$ h
 - Taxa de defeito: $0,0274 + 0,0109 = 0,0383$ falhas/ano;
 - Tempo de reparo: 32,5 h;
 - Custo médio anual das manutenções preventivas: R\$ 1.985,00;
 - Custo médio por manutenção corretiva: R\$ 2.220,00.
- **Conservativo**
 - MPPG: 1 a cada 6 anos;
 - MPPP: 1 a cada 1,2 ano (4 MPPP entre cada MPPG);
 - Tempo de manutenção por ano: $(11,6 \times 4 + 19,3)/6 = 11,0$ h
 - Taxa de defeito: $0,0274 - 0,0109 = 0,0165$ falhas/ano;
 - Tempo de reparo: 32,5 h;
 - Custo médio anual das manutenções preventivas: R\$ 2.980,00;

- Custo médio por manutenção corretiva: R\$ 2.220,00.

Para o cálculo dos custos médios horários de manutenção, foram considerados: número de equipamentos instalados igual a 2.878 (tabela 5) e cálculo das horas anuais trabalhadas foi efetuado com base em 8 horas diárias, durante 22 dias no mês e durante 12 meses, correspondendo a um total de 2.112 h.

Foram obtidos os seguintes custos horários:

Plano Referência:

Manutenção Preventiva = 3.380,00 R\$/h;
Manutenção Corretiva = 83,00 R\$/h.

Plano Otimista:

Manutenção Preventiva = 2.705,00 R\$/h;
Manutenção Corretiva = 116,00 R\$/h.

Plano Conservativo:

Manutenção Preventiva = 4.050,00 R\$/h;
Manutenção Corretiva = 50,00 R\$/h.

Para efeito do cálculo da receita líquida esperada pelo aluguel deste equipamento, a análise considerou a remuneração de R\$ 1.278.221,52 referente ao equipamento (auto-transformador, monofásico, 250 MVA, 440/345 kV).

Os resultados obtidos, para a receita líquida, foram:

Plano Otimista: R\$ 979.944,89
Plano Referência: R\$ 972.685,51
Plano Conservativo: R\$ 962.489,46.

b) Remuneração dos Equipamentos Visando Reposição.

Na tabela 7 apresenta-se a aplicação da metodologia proposta para o caso de um transformador com uma unidade trifásica, potência nominal de 135,0 MVA, tensão nominal 230,0 / 20,0 kV, custo total R\$ 1.985.294,00, remuneração anual R\$ 238.235,28, que representa 12 % do valor do investimento.

Tabela 7 – Vida de Transformador

Ano de	Despesas (R\$)	Receita (R\$)	Resultado anual	Média anual c/	Benefício global
--------	----------------	---------------	-----------------	----------------	------------------

estudo			acumulado (R\$)	valor do trafo (R\$)	(R\$)
1	18460.68	219774.60	219774.60	-	-
2	16862.12	199715.41	419490.01	-782902.00	3370537.03
3	15399.56	181489.10	600979.11	-461438.30	2859856.87
4	14074.36	164915.33	765894.44	-304849.89	2424371.15
5	12851.91	149865.99	915760.43	-213906.71	2052265.87
6	11728.81	136196.55	1051956.98	-155556.17	1733629.77
7	10728.84	123748.77	1175705.75	-115655.46	1460181.44
8	9791.62	112460.75	1288166.50	-87140.94	1225035.04
9	8946.87	102191.65	1390358.15	-66103.98	1022342.63
10	8166.17	92868.85	1483226.99	-50206.70	847246.73
11	7460.52	84389.49	1567616.48	-37970.68	695635.57
12	6808.03	76691.98	1644308.46	-28415.46	564070.94
13	6225.94	69683.16	1713991.62	-20869.41	449634.04
14	5684.66	63323.62	1777315.24	-14855.63	349889.01
15	5195.44	57539.35	1834854.59	-10029.29	262746.06
16	4744.89	52286.74	1887141.33	-6134.54	186453.40
17	4323.78	47523.16	1934664.50	-2978.21	119513.55
18	3951.86	43181.72	1977846.22	-413.77	-60646.28
19	3618.35	39230.35	2017076.57	1672.77	-8787.33
20	3296.70	35656.67	2052733.24	3371.96	36979.27
21	3012.61	32399.54	2085132.78	4754.23	77463.65
22	2747.17	29445.70	2114578.48	5876.57	113330.06
23	2509.36	26756.89	2141335.37	6784.41	145166.56
24	2291.26	24314.41	2165649.78	7514.82	173467.78
25	2095.69	22091.29	2187741.07	8097.88	198666.51
26	1912.94	20075.22	2207816.29	8558.55	221132.12
27	1751.23	18238.01	2226054.31	8917.05	241193.13
28	1594.92	16577.11	2242631.42	9190.62	259124.95
29	1454.71	15065.32	2257696.74	9393.20	275182.06
30	1329.48	13688.73	2271385.47	9536.38	289574.85
					302486.96

Assumiu-se que:

- O custo da manutenção preventiva é de 100 R\$/h;
- O custo da manutenção corretiva é de 200 R\$/h;
- A manutenção preventiva varia linearmente no tempo com $0,01t + 45$ h/ano;
- A taxa de falha varia linearmente no tempo com $0,0010t + 0,02$ falha/ano;
- O tempo de reparo varia linearmente no tempo com $0,010t + 20$ h.

As despesas anuais referem-se ao custo da manutenção corretiva e preventiva acrescidas do fator de penalidade, 150 para manutenção corretiva e 10 para a preventiva.

IV. CONCLUSÕES

As principais conclusões resultantes dos trabalhos desenvolvidos foram:

- a) O modelo de análise desenvolvido se presta ao aperfeiçoamento do processo de manutenção, porquanto permite identificar um Plano de Manutenção adequado para otimização da receita auferida pelo uso do Sistema de Transmissão. Entende-se por Plano de Manutenção a um conjunto de atividades de intervenções programadas no sistema, que podem motivar ou não, indisponibilidades.
- b) É conveniente se ampliar a Base de Dados de registros de defeitos nas instalações com o objetivo de estabelecer nexos causais entre a natureza de intervenções de manutenção realizadas e defeitos, com o objetivo de aperfeiçoar a proposição de Planos de Manutenção.
- c) Considerando o natural envelhecimento dos equipamentos e os crescentes custos de manutenção resultantes, o modelo desenvolvido indica o período economicamente adequado de permanência do equipamento na rede e consequente momento para reposição.
- d) O nível de receita a ser auferido pelo uso do Sistema de Transmissão é uma variável aleatória, cujo risco de superar (ou não atingir) um determinado nível é estreitamente dependente do Plano de Manutenção, cujas atividades integrantes definem o período de indisponibilidade para manutenção programada e a expectativa de indisponibilidade por defeitos (e consequentes multas).
- e) A aplicação do modelo evidencia a necessidade de revisão dos valores de remuneração pelo uso das instalações da CTEEP, por situarem-se aquém do nível mínimo para cobrir os custos operacionais, remunerar o capital e prover a reposição, no final da vida útil, resultando em degradação da qualidade de serviço e aumento de risco.