



**UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MESTRADO EM REGULAÇÃO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA**

BERNARDO GUSTAVO PÁEZ ORTEGA

**PROPOSTAS PARA REGULAÇÃO DA EFICIENCIA
ENERGÉTICA NOS SISTEMAS ELÉTRICOS
DE CONSUMIDORES.**

Salvador 2006.

BERNARDO GUSTAVO PÁEZ ORTEGA

**PROPOSTAS PARA REGULAÇÃO DA EFICIENCIA
ENERGÉTICA NOS SISTEMAS ELÉTRICOS
DE CONSUMIDORES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador – UNIFACS, como pré-requisito para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz de Carvalho Valente.

Salvador 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

(Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Salvador - UNIFACS)

Ortega, Bernardo Gustavo Páez.

Proposta para regulação da eficiência energética nos sistemas elétricos de consumidores / Bernardo Gustavo Páez Ortega. - 2006.

109 f: il. ; 27 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Salvador – UNIFACS. Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, 2006.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho Valente

1. Energia elétrica. 2. Energia elétrica –Combate ao desperdício. 3. Energia elétrica - Utilização – Eficiência e Melhoria. 4. Energia elétrica - Aspecto econômico. 5. Energia elétrica – Distribuição. I. Valente, André Luiz Carvalho, orient. II. Título.


CDD: 333.7962

TERMO DE APROVAÇÃO

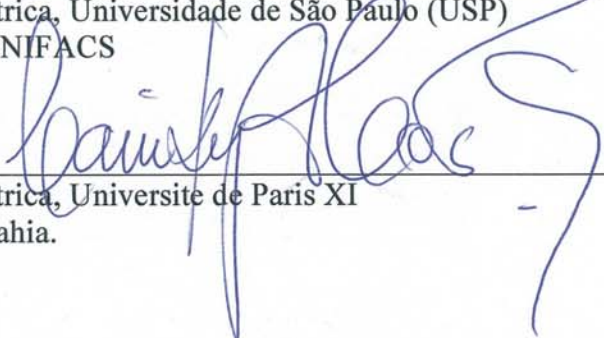
BERNARDO GUSTAVO PÁEZ ORTEGA

**PROPOSTAS PARA REGULAÇÃO DA EFICIENCIA
ENERGÉTICA NOS SISTEMAS ELÉTRICOS
DE CONSUMIDORES.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Regulação da Indústria da Energia, Universidade Salvador – UNIFACS, pela seguinte banca examinadora:

André Luiz de Carvalho Valente – Orientador 
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador – UNIFACS.

Kleber Freire da Silva 
Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo (USP)
Universidade Salvador – UNIFACS

Caiuby Alves da Costa 
Doutor em Engenharia Elétrica, Université de Paris XI
Universidade Federal da Bahia.

Salvador, 11 de Julho de 2006.

Para

Aynna, Fernanda e Pedro Gustavo, meus queridos netos, na esperança que possam viver um mundo mais justo e sustentável.

AGRADECIMENTOS.

A minha família pelo constante apoio.

Ao professor e orientador André Luiz de Carvalho Valente que com sua constante atenção e valiosas observações compromete minha gratidão

Aos meus queridos amigos e irmãos Caiuby Alves da Costa, Jayme Nunes Sarmiento e Henrique Chaguri, pelo encorajamento e incentivo.

Ao querido amigo e sempre professor Carlos Faria Ribeiro pela inata generosidade com os seus conhecimentos de engenharia.

Aos colegas do curso de Mestrado de 2004, com os quais tanto aprendi.

RESUMO

Esta dissertação desenvolve o aprimoramento da eficiência energética dos sistemas elétricos com a proposta de elaborar projetos elétricos eficientes para consumidores em prédios de uso coletivo e em indústrias.

Para esta procura são elaborados estudos de caso que mostram a viabilidade deste aprimoramento com alterações de normas e padrões existentes, que conduzem à sugestão de se elaborarem de estudos de adequação do marco regulatório atual visando à economia de energia a partir da cuidadosa e criteriosa preparação do projeto das instalações elétricas.

Palavras chave: Eficiência Energética; Instalações Elétricas; Projeto Elétrico.

ABSTRACT

This dissertation develops for the improvement of the energy efficiency of the electric systems with the proposal of elaborating efficient electric projects for consumers in buildings of collective use and in industries.

For this search they are elaborated case studies that show the viability of this improvement with alterations of norms and existent patterns, which lead to the suggestion of if they elaborate of studies of adaptation of the current regulation seeking to the economy of energy starting from the careful and discerning preparation of the electrical installations project.

Keywords Energy Efficiency; Electrical Installations; Electric Projects.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 Suprimento Convencional | 11 |
| Figura 3.2 Suprimento alternativo proposto | 14 |
| Figura 3.3 Subestação Unitária para suprimento de grupos de cargas | 16 |
| Figura 6.1 Instalação eficiente de capacitores para correção de fator de potência nos motores | 61 |
| Figura 6.2 Característica de desempenho motor de 300 CV | 64 |

TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 4.1.1 Dimensionamento alimentadores aos andares do prédio | 25 |
| Tabela 4.2.1 Dimensionamento alternativo dos alimentadores aos andares do prédio | 40 |
| Tabela 5.1 Variação relativa da bitola do condutor com o fator de potência | 48 |
| Tabela 5.2 Redução das perdas nos condutores com a melhora do fator de potência | 48 |
| Tabela 6.1 1 Consumo comparativo com alteração do fator de Potência do Acionamento | 55 |
| Tabela 6.2 Consumo anual de energia | 60 |
| Tabela 6.3 Custo da energia | 60 |
| Tabela 6. Comparativo de energia e custo de energia entre motores de 300 CV e 125 CV | 67 |

Lista de Símbolos

| | |
|--------------------------|---|
| <i>A</i> | Área |
| <i>a_p</i> | Área play ground |
| <i>a_f</i> | Área salão de festas |
| <i>a_g</i> | Área da garagem |
| <i>a_{pe}</i> | Área salão quadra poli esportiva |
| <i>b</i> | Carga para rendimento máximo do transformador |
| <i>b₀</i> | Carregamento transformador |
| <i>C</i> | Carga peso |
| <i>C_{ma}</i> | Carregamento de motor 440 V de acionamento da bomba |
| <i>C_{mb}</i> | Carregamento de motor 4160 V de acionamento da bomba |
| <i>CV</i> | Cavalo vapor |
| <i>Cs</i> | Valor do consumo de energia período seco segmento fora de ponta R\$/MWh |
| <i>Cu</i> | Valor do consumo de energia período úmido segmento fora de ponta R\$/MWh |
| <i>D_a</i> | Demanda de apartamento |
| <i>D_{aptos}</i> | Demanda dos apartamentos |
| <i>D_{cg}</i> | Demanda quadro geral de serviços |
| <i>D_{tp}</i> | Demanda total estimada |
| <i>D_{el}</i> | Demanda dos elevadores |
| <i>D_{fp}</i> | Demanda segmento fora de ponta |
| <i>dA</i> | Dias do ano |
| <i>fd_{ae}</i> | Fator de demanda area externa |
| <i>fd_c</i> | Fator de demanda area de circulação |
| <i>fd_{el}</i> | Fator de demanda elevadores |
| <i>fd_g</i> | Fator de demanda garagem |
| <i>fd_{pg}</i> | Fator de demanda area de play ground |
| <i>fd_q</i> | Fator de demanda quadra poli esportiva |
| <i>fd_{sf}</i> | Fator de demanda area de salão de festas |
| <i>fd_{sp}</i> | Fator de demanda sauna e piscina |
| <i>fp</i> | Fator de potência |
| <i>fp_a</i> | Fator de potência apartamento -Fator de potência motor 440 V da bomba |
| <i>fp_b</i> | Fator de potência motor 4160 V da bomba |
| <i>fp_c</i> | Fator de potência real de trabalho do motor 300 CV do misturador carregamento de 40% |
| <i>fp_s</i> | Fator de potência nominal novo motor 125 CV do misturador |
| <i>fp_{sc}</i> | Fator de potência corrigido novo motor 125 CV do misturador |
| <i>fc</i> | Fator de carga |
| <i>fp_{ca}</i> | Fator de potência corrigido do conjunto motor condensador 440 V acionamento da bomba |
| <i>fp_{cb}</i> | Fator de potência corrigido do conjunto motor condensador 4160 V acionamento da bomba |
| <i>fp_e</i> | Fator de potência elevador |
| <i>fp_{ec}</i> | Fator de potência corrigido do elevador |
| <i>fp_{pa}</i> | Fator de potência motor 440 V motor da bomba na partida |
| <i>fp_{pb}</i> | Fator de potência motor 4160 V motor da bomba na partida |
| <i>g</i> | Aceleração de gravidade |
| <i>HP</i> | Cavalo de força |

| | |
|----------------------------|---|
| Ha | Horas de funcionamento em um ano |
| Hfp | Horas mensais no segmento fora de ponta |
| Ho | Horas de funcionamento |
| I | Corrente no cabo no período de tempo considerado |
| I₀ | Corrente em vazio de transformador. |
| I_{0%} | Porcentual de corrente em vazio de transformador. |
| I₀₂ | Corrente em vazio de transformador vista do lado secundário |
| I₁ | Corrente primária de transformador |
| I₁ | Corrente primária |
| I_{1e} | Corrente efetiva em cabos primários |
| I₂ | Corrente secundária |
| I_a | Corrente alimentador apartamento e area de circulação. Valor eficaz corrente de carga anual |
| I_a | Corrente conjunto motor condensador 440 V acionamento bomba |
| I_{ad} | Corrente admissível |
| I_{adel} | Corrente admissível cabos alimentadores quadro elevadores |
| I_{ad25} | Corrente admissível cabos alimentadores apartamento do 25º andar |
| I_{ads} | Corrente admissível em cabo secundário PVC |
| I_{adepr} | Corrente admissível em cabo EPR |
| I_{adeprs} | Corrente admissível em cabo secundário EPR |
| I_{adxlpe} | Corrente admissível em cabo XLPE |
| I_{adelpes} | Corrente admissível em cabo secundário XLPE |
| I_b | Corrente conjunto motor condensador 4160 V acionamento bomba |
| I_c | Corrente média |
| I_{cc a} | Corrente de suportabilidade ao curto circuito do alimentador ao motor 440 V |
| I_{cc b} | Corrente de suportabilidade ao curto circuito do alimentador ao motor 4160 V |
| I_{cg} | Corrente máxima alimentador quadro geral de serviços |
| I_{cgd} | Corrente de demanda máxima alimentador quadro geral de serviços |
| I_{el} | Corrente secundária alimentador quadro elevadores |
| I_{elc} | Corrente Primária de carregamento S.E.elevadores |
| I_{efe} | Corrente secundária efetiva alimentador quadro elevadores |
| I_{kcg} | Corrente de suportabilidade ao curto circuito do alimentador ao quadro geral de serviços |
| I_{k1d} | Corrente de suportabilidade ao curto circuito do alimentador aos apartamentos 1º e 5º andar |
| I_{k25} | Corrente de suportabilidade ao curto circuito do alimentador ao apartamento do 25º andar |
| I_m | Corrente nominal do motor motor 300 CV misturador |
| I_{ma} | Corrente nominal do motor 440V para acionamento da bomba |
| I_{m b} | Corrente nominal do motor 4160V para acionamento da bomba |
| I_{ms} | Corrente nominal novo motor 125 CV do misturador |
| I_{sc} | Corrente conjunto novo motor 125 CV e condensador do misturador |
| I_n | Corrente nominal do transformador a plena carga |
| I_{na} | Capacidade de condução de corrente dos cabos |
| I_{nca} | Capacidade de condução de corrente nos cabos alimentadores motor 440 V |
| I_{ncb} | Capacidade de condução de corrente nos cabos alimentadores motor 4160 V |
| I_{pa} | Corrente de partida do motor 440V para acionamento da bomba |
| I_{pb} | Corrente de partida do motor 4160V para acionamento da bomba |

| | |
|-----------|---|
| I_{pcg} | Corrente primária quadro geral de serviços |
| I_{t1} | Corrente primária do trecho 1 para S.E.unitária 1 |
| I_{t2} | Corrente primária do trecho 2 para S.E.unitária 2 |
| I_{t3} | Corrente primária do trecho 3 para S.E.unitária 3 |
| I_{t4} | Corrente primária do trecho 4 para S.E.unitária 4 |
| I_{t5} | Corrente primária do trecho 5 para S.E.unitária 5 |
| I_{u1} | Corrente máxima primária S.E.unitária para apartamentos |
| I_{u2} | Corrente máxima secundária S.E.unitária para apartamentos |
| I_{u2e} | Corrente máxima secundária efetiva S.E.unitária para apartamentos |
| i | Corrente de carga momentânea |
| k | Coeficiente de alívio de carga |
| L_{cg} | Comprimento de cabos alimentadores ao quadro geral de serviços |
| L_{el} | Comprimento alimentador primário S.E. elevadores |
| L_{pcg} | Comprimento alimentador primário S.E. geral de serviços |
| L_{t1} | Comprimento trecho 1 alimentador primário subestações para os apartamentos |
| L_{t2} | Comprimento trecho 2 alimentador primário subestações para os apartamentos |
| L_{t3} | Comprimento trecho 3 alimentador primário subestações para os apartamentos |
| L_{t4} | Comprimento trecho 4 alimentador primário subestações para os apartamentos |
| L_{t5} | Comprimento trecho 5 alimentador primário subestações para os apartamentos |
| L_1 | Comprimento de cabos primários |
| L_2 | Comprimento de cabos secundários |
| L_{25} | Comprimento de cabos alimentadores ao 25º andar |
| l_a | Comprimento de cabos alimentadores ao motor do misturador |
| $l_c a$ | Comprimento de cabos 0,6/1 kV EPR alimentação motor 440 V de acionamento da bomba |
| $l_c b$ | Comprimento de cabos 3,6/ 6 kV EPR alimentação motor 4160 V de acionamento da bomba |
| n | Velocidade nominal de motor 300 CV do misturador em r.p.m. |
| nc | Velocidade verificada no motor de 300CV do misturador em r.p.m. |
| nr | Velocidade nominal novo motor 125 CV do misturador em r.p.m. |
| P_a | Potência ativa absorvida por conjunto motor condensador 440 V acionamento da bomba |
| Pac | Potência ativa absorvida motor 300 CV misturador com carregamento de 100% |
| Pas | Potência ativa absorvida motor 125 CV misturador com carregamento de 100% |
| Pam | Potência ativa absorvida motor 300 CV misturador com carregamento de 100% |
| P_b | Potência ativa absorvida por conjunto motor condensador 4160 V acionamento da bomba |
| P_B | Potência de Bomba |
| P_c | Perdas em carga ou no cobre do transformador |
| Pc | Potência de elevador |
| pc | Perdas motor 300 CV do misturador com carregamento de 40% |
| P_{ccg} | Perdas em carga do transformador subestação de serviços |
| P_{cu} | Perdas conhecidas no cobre a plena carga |
| p_{cu} | Perda momentânea no cobre |
| P_{cel} | Perdas em carga no transformador da S.E. elevadores |
| Pe | Potência motor elevador |
| P_e | Potência ativa absorvida por motor |
| Pm | Potência mecânica 300 CV do motor misturador |

| | |
|-----------------|---|
| P_{ma} | Potência mecânica do motor 440 V da bomba |
| P_{mb} | Potência mecânica do motor 4160 V da bomba |
| P_{mc} | Potência mecânica real do motor misturador (Carregamento de 40%) |
| P_{mc1} | Potência equivalente de motor em HP |
| P_{mc2} | Potência equivalente de motor em CV |
| P_s | Potência mecânica 125 CV do novo motor misturador |
| P_t | Perdas totais |
| P_{tI} | Perdas totais obtidas em ensaio |
| $P_{t\xi cv}$ | Perdas totais de energia dimensionamento convencional |
| P_o | Perdas em vazio ou no ferro do transformador |
| pP | Perda de potência num condutor |
| P_{ocg} | Perdas em vazio transformador subestação de serviços |
| P_{ocgpi} | Perdas em vazio transformador subestação de serviços em por unidade |
| P_{ou} | Perdas em vazio transformadores subestação unitária |
| P_{oupu} | Perdas em vazio transformadores subestação unitária em por unidade |
| P_{oel} | Perdas em vazio no transformador da S.E. elevadores |
| P_{oelpu} | Perdas em vazio no transformador da S.E. elevadores em por unidade |
| P_{0I} | Perdas em vazio no transformador obtidas em ensaio |
| pn | Perdas do motor 300 CV misturador com carregamento de 100% |
| ps | Perdas do novo motor 125 CV misturador com carregamento de 100% |
| $psca\%$ | Percentual de condução de corrente dos cabos do alimentador ao motor de 440 V |
| $pscb\%$ | Percentual de condução de corrente dos cabos do alimentador ao motor de 4160 V |
| $p\xi a$ | Perda de energia anual motor 300 CV misturador com carregamento de 100% |
| $p\xi ac$ | Perda de energia anual motor 300 CV misturador com carregamento de 40% |
| $p\xi at$ | Perda de energia anual da instalação do conjunto motor condensador 440 V |
| $p\xi at\%$ | Percentual de perdas de energia da instalação do conjunto motor condensador 440 V |
| $p\xi am$ | Perdas totais no acionamento do misturador Motor de 300 CV carregamento de 40% |
| $p\xi as$ | Perda de energia anual acionamento do misturador com motor de 125 CV |
| $P_{\xi b}$ | Perdas de energia no barramento secundário S.E unitária apartamentos |
| $p\xi bt$ | Perda de energia anual da instalação do conjunto motor condensador 4160 V |
| $p\xi bt\%$ | Percentual de perdas de energia da instalação do conjunto motor condensador 4160 V |
| $p\xi c$ | Perdas de energia no cabo |
| $p\xi ca$ | Perdas de energia anual nos cabos de alimentação ao conjunto motor condensador 440 V |
| $p\xi ca$ | Perdas de energia anual cabos de alimentação ao motor 300 CV misturador carregamento 100% |
| $p\xi cb$ | Perdas de energia anual nos cabos de alimentação ao conjunto motor condensador 4160 V |
| $p\xi ca\%$ | Percentual de perdas de energia no alimentador do conjunto motor condensador 440 V |
| $p\xi cb\%$ | Percentual de perdas de energia no alimentador do conjunto motor condensador 4160 V |
| $p\xi cc$ | Perdas de energia anual nos cabos de alimentação ao motor 300 CV com carregamento de 40% |
| $P_{\xi epr}$ | Perdas de energia em cabos com isolamento EPR, primários |
| $P_{\xi eprel}$ | Perdas de energia em alimentador primário a S.E. elevadores com isolamento EPR |
| $P_{\xi eprp}$ | Perdas de energia anual total do alimentador primário as subestações dos apartamentos |
| $P_{\xi eprt1}$ | Perdas de energia anual do trecho 1 do alimentador primário subestações dos apartamentos |
| $P_{\xi eprt2}$ | Perdas de energia anual do trecho 2 do alimentador primário subestações dos apartamentos |
| $P_{\xi eprt3}$ | Perdas de energia anual do trecho 3 do alimentador primário subestações dos apartamentos |
| $P_{\xi eprt4}$ | Perdas de energia anual do trecho 4 do alimentador primário subestações dos apartamentos |
| $P_{\xi eprt5}$ | Perdas de energia anual do trecho 5 do alimentador primário subestações dos apartamentos |

- $P_{\xi prcg}$ Perdas de energia em cabos alimentadores primários a S.E de serviços com isolamento EPR
- $P_{\xi prs}$ Perdas de energia em cabos secundários com isolamento EPR
- $p_{\xi ma}$ Perdas de energia anual no motor 440 V
- $p_{\xi mat}$ Perdas de energia anual da instalação conjunto motor 440 V sem condensador
- $p_{\xi mat\%}$ Percentual de perdas de energia anual da instalação conjunto motor 440 V sem condensador
- $p_{\xi mb}$ Perdas de energia anual no motor 4160 V
- $p_{\xi mbt}$ Perdas de energia anual da instalação conjunto motor 4160 V sem condensador
- $p_{\xi mbt\%}$ Percentual de perdas de energia anual da instalação conjunto motor 4160 V sem condensador
- $p_{\xi mca}$ Perdas de energia anual nos cabos alimentadores ao motor 440 V somente, sem condensador
- $p_{\xi mca\%}$ Percentual de perda de energia anual nos cabos alimentadores ao motor 440 V sem condensador
- $p_{\xi mcb}$ Perdas de energia anual nos cabos alimentadores ao motor 4160 V somente, sem condensador
- $p_{\xi mcb\%}$ Percentual de perda de energia anual nos cabos alimentadores ao motor 4160 V sem condensador
- $p_{\xi mt}$ Perdas totais de enregia no acionamento do misturador com motor de 125 CV
- $P_{\xi pvc}$ Perdas de energia em cabos com isolamento PVC
- $P_{\xi pvc1a}$ Perdas de energia em cabos alimentadores apartamentos do 1° e 5° andares.
- $P_{\xi pvccg}$ Perdas de energia alimentador B. T. quadro geral de serviços com isolamento PVC
- $P_{\xi pvcs}$ Perdas de energia em cabos secundários com isolamento PVC
- $P_{\xi pvcel}$ Perdas de energia alimentador B. T. quadro elevadores com isolamento PVC
- $P_{\xi pvc25}$ Perdas de energia alimentadores B. T. ao 25° anadar
- $p_{\xi sc}$ Perda de energia anual no alimentador com novo motor 125 CV acionamento do misturador
- $P_{\xi xlpe}$ Perdas de energia em cabos com isolamento XLPE
- $P_{\xi xlpes}$ Perdas de energia em cabos secundários com isolamento XLPE
- $P_{\xi t}$ Perdas de energia transformadores com isolamento em óleo
- $P_{\xi t}$ Perdas totais de energia durante a vida útil do prédio. Dimensionamento convencional
- $P_{\xi tcg}$ Perdas totais de energia transformador subestação de serviços
- $P_{\xi tu}$ Perdas totais de energia transformadores subestações unitárias
- $P_{\xi tel}$ Perdas de energia anual do transformador S.E. dos elevadores
- $P_{\xi ts}$ Perdas de energia transformadores scos com isolamento em resina
- $p_{\xi t}$ Perdas de energia no transformador
- Q Custo de perdas
- Q_a Potência reativa do conjunto motor condensador 440 V para acionamento da bomba
- Q_a Custo das perdas anuais no alimentador motor misturador motor 125 CV
- Q_{am} Custo das perdas totais anuais do acionamento do misturador com motor 300 CV
- Q_b Potência reativa do conjunto motor condensador 4160 V para acionamento da bomba
- Q_c_a Potência reativa de condensador 440 V para correção de fator de potência motor da bomba
- Q_c_b Potência reativa de condensador 4160 V para correção de fator de potência motor da bomba
- Q_e Potência reativa absorvida por motor
- Q_p Custo perdas anuis motor 300 CV misturador
- Q_{pmt} Custo das perdas totais anuais do acionamento do misturador com motor 125 CV
- Q_{ps} Custo das perdas totais anuais do novo motor 125 CV do misturador
- Q_t Custo das perdas totais anuais acionamento misturador com motor 300CV com carga de 40%
- Q_{ta} Custo das perdas totais anuais acionamento misturador com motor 300CV com carga de 100%
- $Q1$ Valor de multa em reais
- $Q2$ Valor de multa em reais

| | |
|--------------------------|---|
| R | Resistência ôhmica do cabo |
| R_b | Resistência ôhmica barra de cobre barramento secundário S.E.unitaria apartamentos |
| R_{epr} | Resistencia de cabo com isolamento EPR |
| R_{eprs} | Resistência de cabo secundário com isolamento EPR |
| R_{ma} | Resistência motor 440 V acionamento bomba |
| R_{mb} | Resistência motor 4160 V acionamento bomba |
| R_{pvc} | Resistência de cabo com isolamento PVC |
| R_{pvcg} | Resistência de cabo alimentador B.T. do quadro geral de serviços com isolamento PVC |
| R_{pvc} | Resistência de cabo secundário com isolamento PVC |
| R_{pvc1d} | Resistência cabo B.T. alimentador apartamentos 1° e 5° andar com isolamento PVC |
| R_{pvcel} | Resistência de cabo secundário alimentador do elevador com isolamento PVC |
| R_{pvc25} | Resistência de cabo secundário alimentador ao 25° andar com isolamento PVC |
| R_{pu} | Resistência em por unidade de transformador |
| R_{xlpe} | Resistencia de cabo com isolamento XLPE |
| R_{xlpes} | Resistência de cabo secundário com isolamento XLPE |
| RΩ | Resistência ôhmica de transformador |
| R% | Resistência porcentual de transformador |
| rc_a | Resistência ôhmica cabo 0,6/1 kV EPR alimentador motor de 440 V misturador |
| rc_a | Resistência ôhmica cabo 0,6/1 kV EPR alimentador motor de 440 V acionamento da bomba |
| rc_b | Resistência ôhmica cabo 3,6/6 kV EPR alimentador motor de 4160 V acionamento da bomba |
| rp | Relação de perdas de transformador |
| rp% | Percentual de redução das perdas anuais de energia |
| rqξ% | Percentual de redução de custo da energia |
| S_a | Potência aparente do conjunto motor condensador 440 V para acionamento da bomba |
| S_{ac} | Potência aparente area de circulação |
| S_{ae} | Potência aparente area externa |
| S_{af} | Potência aparente salão de festas |
| S_{ap} | Potência aparente area de playground |
| S_b | Potência aparente do conjunto motor condensador 4160 V para acionamento da bomba |
| S_{cg} | Potência aparente total quadro geral de serviços |
| S_e | Potência aparente motor elevador |
| S_{ec} | Potência aparente motor-condensador elevador |
| S_{et} | Potência aparente total do elevador, potência aparente dos elevadores |
| S_g | Potência aparente instalada na garagem |
| S_m | Potência aparente motor misturador 300 CV com carregamento de 100% |
| S_{mc} | Potência aparente real do motor misturador 300 CV com carregamento de 40% |
| S_{pa} | Potência aparente motor 440 V da bomba na partida |
| S_{pb} | Potência aparente motor 4160 V da bomba na partida |
| S_{pe} | Potência aparente area de quadra poli esportiva |
| S_{sp} | Potência aparente instalada na sauna e piscina |
| S_s | Potência aparente nominal motor de 125 CV |
| S_{sc} | Potência aparente conjunto motor de 125 CV e condensador 25 kVAR |
| S_t | Potência aparente nominal de transformador |
| S_{tcg} | Potência aparente nominal de transformador S.E. de serviços |

| | |
|--------------|---|
| S_{tcgo} | Potência aparente em vazio transformador subestação de serviços |
| S_{tel} | Potência aparente nominal de transformador S.E. elevadores |
| S_{tel0} | Potência aparente em vazio transformador S.E. elevadores |
| S_{tou} | Potência aparente em vazio transformador subestação unitária dos apartamentos |
| S_{tu} | Potência aparente de cada transformador subestação unitária dos apartamentos |
| S_{t1} | Potência aparente transformador 1 |
| S_{t2} | Potência aparente transformador 2 |
| S_u | Potência aparente S.E. unitária |
| s | Bitola do condutor |
| t | Período de tempo considerado |
| V | Tensão nominal |
| V | Velocidade de transporte |
| V_a | Tensão 440 V motor da bomba |
| V_b | Tensão 4160 V motor da bomba |
| V_c | Tensão média |
| V_c | Preço de Transformador ofertado |
| V_{cc} | Tensão de curto circuito |
| V_t | Vaolor total do Transformador |
| V_1 | Tensão primária |
| V_2 | Tensão secundária de utilização |
| X_{ma} | Reatância indutiva motor 440 V acionamento bomba |
| X_{mb} | Reatância indutiva motor 4160 V acionamento bomba |
| Xl_{pvc1d} | Reatância indutiva cabo B.T alimentador apartamentos 1º e 5º andar com isolamento PVC |
| Xl_{pvc25} | Reatância indutiva de cabo secundário alimentador ao 25º andar com isolamento PVC |
| Xl_{pvccg} | Reatância indutiva de cabo alimentador ao quadro geral de serviços com isolamento PVC |
| $X\Omega$ | Reatância ôhmica de transformador |
| X_{pu} | Reatância em por unidade de transformador |
| $X\%$ | Reatância porcentual de transformador |
| xc_a | Reatância cabo 0,6/1 kV EPR alimentador motor de 440 V misturador |
| xc_a | Reatância cabo 0,6/1 kV EPR alimentador motor de 440 V acionamento da bomba |
| xc_b | Reatância cabo 3,6/6 kV EPR alimentador motor de 4160 V acionamento da bomba |
| Zc_a | Impedância condensador para correção fator de potência motor 440 V acionamento bomba |
| Z_{capu} | Impedancia dos cabos do alimentador ao motor 440 V em por unidade |
| Z_{cbpu} | Impedancia dos cabos do alimentador ao motor 4160 V em por unidade |
| Zc_{apu} | Impedância condensador para potência motor 440 V acionamento bomba em por unidade |
| Zc_b | Impedância condensador para correção fator de potência motor 4160 V acionamento bomba |
| Zc_{bpu} | Impedância condensador para potência motor 4160 V acionamento bomba em por unidade |
| Zc_{ma} | Impedância ôhmica motor condensador 440 V acionamento bomba em operação normal |
| Zc_{mb} | Impedância ôhmica motor condensador 4160 V acionamento bomba em operação normal |
| Zec_{ma} | Impedância equivalente motor condensador 440 V acionamento bomba em operação normal |
| Zec_{mapu} | Impedância equivalente motor condensador 440 V para bomba operação normal em por unidade |
| Zec_{mbpu} | Impedância equivalente motor condensador 4160 V para bomba operação normal em por unidade |
| Zep_{apu} | Impedância equivalente motor condensador 440 V para bomba na partida em por unidade |
| Zep_{bpu} | Impedância equivalente motor condensador 4160 V para bomba na partida em por unidade |

| | |
|-------------------|---|
| Z_{ma} | Impedância motor 440 V acionamento bomba |
| Z_{mb} | Impedância motor 4160 V acionamento bomba |
| Z_{mapu} | Impedância motor 440 V acionamento bomba em por unidade |
| Z_{mbpu} | Impedância motor 4160 V acionamento bomba em por unidade |
| Z_{pa} | Impedância motor 440 V acionamento bomba na partida |
| Z_{pb} | Impedância motor 4160 V acionamento bomba na partida |
| Z_{papu} | Impedância motor 440 V acionamento bomba na partida em por unidade |
| Z_{pbpu} | Impedância motor 4160 V acionamento bomba na partida em por unidade |
| Z_{pu} | Impedância em por unidade de transformador |
| $Z\Omega$ | Impedância ôhmica de transformador |
| $Z\%$ | Impedância porcentual de transformador |
| $z_c a$ | Impedancia dos cabos do alimentador ao motor 440 V |
| $z_c b$ | Impedancia dos cabos do alimentador ao motor 4160 V |
| $\gamma_n\%$ | Carga efetiva do motor 300 CV do misturador |
| $\gamma_s\%$ | Carregamento motor 125 CV misturador |
| $\Delta V\%$ | Percentual de queda de tensão alimentador motor 300 CV misturador |
| $\Delta V\%$ | Percentual de queda de tensão alimentador motor 125 CV misturador |
| $\Delta V_{a\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador Motor 440 V , sem o Condensador |
| $\Delta V_{ac\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador conjunto Motor - Condensador 440 V |
| $\Delta V_{b\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador Motor 4160 V , sem o Condensador |
| $\Delta V_{bc\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador conjunto Motor - Condensador 4160 V |
| $\Delta V_{cg\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador B.T. quadro geral de serviços isolamento PVC |
| Δp | Redução Percentual de perdas |
| $\Delta p\%$ | Percentua de variação de perdas devido ao menor carregamento motor 300 CV do misturador |
| Δs | Variação de bitola do condutor |
| $\Delta V_{1d\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador aparatamentos 1° e 5° andar |
| $\Delta V_{25\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador a apartamento do 25° andar |
| Δs | Variação de bitola do condutor |
| $\Delta V_{1d\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador aparatamentos 1° e 5° andar |
| $\Delta V_{25\%}$ | Percentual de queda de tensão alimentador a apartamento do 25° andar |
| δ_g | Densidade de potência área de garagem |
| δ_{pc} | Densidade de potência área de circulação |
| δ_{pe} | Densidade de potência quadra poli esportiva |
| δ_{pf} | Densidade de potência salão de festas |
| δ_{pp} | Densidade de potência área de playground |
| $\varepsilon\%$ | Percentual de economia anual no custo anual das perdas de energia |
| λ | Fator de demanda de potência no período de tempo considerado |
| λ | Carregamento de transformadores - Carregamento sitema |
| λ_{cg} | Carregamento de transformador subestação de serviços |
| λ_{el} | Carregamento de transformador S.E. Elevadores |
| η | Rendimento |
| η_a | Rendimento motor 440 V da bomba |
| η_b | Rendimento motor 4160 V da bomba |
| η_c | Rendimento motor |

η^c Rendimento real de trabalho do motor 300 CV do misturador carregamento de 40%

η_e Rendimento motor elevador

η_s Rendimento nominal motor 125 CV do misturador

ξ_a Energia anual consumida pelo conjunto motor condensador 440 V

ξ_a Perdas totais anuais - Perdas totais de energia num determinado período de tempo

ξ_a Energia anual consumida pelo conjunto motor do misturador com carregamento de 40%

ξ_{acu} Perdas anuais no cobre

ξ_b Energia anual consumida pelo conjunto motor condensador 4160 V

ξ_{cu} Perda total de energia no cobre

ξ_{afe} Perdas anuais no ferro

ξ_{ia} Energia consumida anual pela instalação conjunto motor condensador 440 V

ξ_{ib} Energia consumida anual pela instalação conjunto motor condensador 4160 V

ξ_{ima} Energia consumida anual pela instalação do motor 440 V sem condensador

ξ_{imb} Energia consumida anual pela instalação do motor 4160 V sem condensador

ξ_{sc} Consumo de energia anual do novo motor 125 CV do misturador

ξ_t Consumo de energia anual motor 300CV do misturador com carregamento de 40%

ξ_{tsc} Consumo de energia anual instalação do misturador com motor 125 CV

K Custo da energia

κ_a Custo do quilowatt ano

$T\xi$ Valor médio da energia elétrica setor industrial região nordeste R\$/ kWh

τ_m Torque nominal do motor 300 CV do misturador

τ_{mc} Torque desenvolvido real do motor 300 CV do misturador com carregamento de 40%

τ_s Torque nominal do novo motor 125 CV do misturador

SUMARIO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1,1 | Panorama geral | 1 |
| 1,2 | Objetivo | 2 |
| 1,3 | Estrutura da dissertação | 2 |
| 2 | AMBIENTE REGULATÓRIO | 4 |
| 2,1 | ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas | 5 |
| 2,2 | ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica | 6 |
| 2,3 | ABRADEE Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica | 7 |
| 2,4 | ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras | 7 |
| 3 | PROPOSTA PARA O PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS | 10 |
| 3,1 | A obra de construção predial | 10 |
| 3,2 | O projeto de instalação elétrica predial | 10 |
| 4 | ESTUDO DE CASO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS | 17 |
| 4,1 | Dimensionamento convencional | 20 |
| 4,2 | Dimensionamento alternativo | 26 |
| 5 | PROPOSTA PARA O PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS | 46 |
| 5,1 | Dimensionamento | 47 |
| 6 | ESTUDOS DE CASOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS. | 50 |
| 6,1 | Escolha de motor para acionamento de bomba | 50 |
| 6,2 | Verificação do dimensionamento para um acionamento | 61 |
| 7 | PROPOSTAS DE ATUAÇÃO REGULATÓRIA | 68 |
| 7,1 | Propostas de normalização | 69 |
| 7,2 | Proposta de alteração de resolução | 70 |
| 7,3 | Propostas de adequação de normas e padrões | 70 |
| 7,4 | Proposta as Prefeituras Municipais | 70 |
| 8 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 72 |
| 8,1 | Desenvolvimentos futuros | 73 |
| 9 | BIBLIOGRAFIA | 74 |
| 10 | ANEXOS | 79 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. PANORAMA GERAL

A partir de 1985, quando o Governo Federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, vem se desenvolvendo na sociedade, diversas ações que visam a racionalizar o uso deste tipo de energia.

Nestas ações contra o desperdício de energia elétrica, no transcorrer do tempo, várias instituições governamentais e do setor privado têm-se somado positivamente e, a partir da crise de energia elétrica de 2000/2001, a sociedade intensificou o combate que, até o presente, tem resultados altamente positivos de economia de energia nos sistemas elétricos.

Contudo, há ainda um fecundo espaço para a uma intervenção organizada no suprimento de energia elétrica ao consumidor final, no esforço de atingir o alargamento destas providências para tornar mais eficientes os sistemas elétricos de forma integral.

Para o alcance desse propósito é necessário o desenvolvimento de procedimentos que tenham início na fase de projeto das instalações elétricas dos consumidores, visando à eficiência energética das mesmas, quando do seu dimensionamento, atendendo legislação de regulação, através de rigorosos estudos e análises que minimizem o desperdício da energia elétrica nos seus componentes.

O ordenamento adequado dos procedimentos de engenharia e especificações técnicas de equipamentos e materiais nas normas técnicas e padrões de ligação de consumidores às redes das concessionárias, tornará viável ao projetista e ao agente fiscalizador a elaboração e análise verificadora do projeto elétrico do consumidor contendo as diretrizes de eficiência energética incorporada à normalização.

Para satisfazer estas novas ações de conservação de energia, há espaço para propostas de estudos para elaboração, complementação e ajustes no marco regulatório existente, no intuito de incorporar nesse corpo regulamentar os postulados para a instalação elétrica intrinsecamente eficiente.

Assim é proposta a realização de estudos para a inclusão das premissas de eficiência energética nas instalações elétricas de consumidores pelos órgãos e instituições que diretamente cuidam das normas e regulamentos da energia elétrica como a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, órgão detentor da elaboração das normas técnicas, a Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL, autarquia encarregada da regulação dos serviços públicos de energia elétrica, a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica ABRADDEE que reúne as concessionárias de energia elétrica o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica PROCEL, e ainda as prefeituras municipais através dos órgãos que cuidam do ordenamento e uso do solo.

Na definição do PROCEL citada no livro Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável:¹

“A conservação deve ser entendida como a utilização de uma menor quantidade de energia para a obtenção de um mesmo produto ou serviço através da eliminação do desperdício, do uso de equipamentos eficientes e do aprimoramento de processos produtivos.”

Neste conceito de conservação de energia que busca a redução nas perdas técnicas das concessionárias e a racionalização do uso da energia elétrica, a eficiência energética busca o aumento do rendimento energético dos sistemas elétricos e dos seus componentes.

1.2. OBJETIVO

Este trabalho objetiva mostrar o espaço para propostas de adaptações e melhorias nas normas e procedimentos para elaboração dos projetos de instalações elétricas de consumidores, incorporando aos mesmos os estudos de eficiência energética como uma forma de contribuir à formação de uma cultura de conservação de energia.

A necessidade da conscientização da conservação de energia na sociedade, fruto de um positivo e forçado aprendizado ocasionado pela crise de abastecimento de energia elétrica que o país enfrentou em 2000/2001 deve dar lugar a uma cultura da conservação de energia que não pode estar vinculada somente a situações conjunturais, dados seus benefícios e utilidades, devendo promover uma política energética responsável envolvendo a totalidade do estamento social.

As adaptações e melhorias propostas de eficiência energética seguem essa linha tratando de envolver ainda órgãos que podem se incorporar a estas ações devidamente organizadas, como setores municipais que cuidam do ordenamento do uso e da ocupação do solo encarregados da concessão dos alvarás de construção de novos consumidores, e também um maior envolvimento do setor da construção civil.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está composta de oito capítulos, incluindo esta introdução. Os capítulos restantes tem o conteúdo a seguir:.

No Capítulo 2 é analisado o ambiente regulatório no Brasil, identificando o papel de cada órgão governamental e não-governamental na elaboração das normas, assim como os programas de incentivo a eficiência energética no setor abrangido.

1-REIS,Lineu Belico e SILVEIRA Semida, Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável São Paulo EDUSP

No Capítulo 3 é elaborada uma proposta para elaboração de projeto de instalações elétricas prediais incorporando no seu dimensionamento os estudos de eficiência energética aplicáveis a alimentadores e transformadores.

O Capítulo 4 mostra um estudo de caso de instalação elétrica predial comparando os modos convencional e proposto para este tipo de instalação.

No Capítulo 5 é elaborada uma proposta para elaboração de projeto de instalações elétricas industriais envolvendo estudos de escolha de tensão, fator de potência e dimensionamento de motores de indução ajustados à carga.

O Capítulo 6 mostra um estudo de caso de instalação elétrica industrial mostrando a redução de perdas de energia com escolha de tensão melhora de fator de potência e adequado carregamento de motores,

No Capítulo 7 com os resultados dos estudos de casos de projeto de instalações são organizadas sugestões para órgãos de regulação e de normalização, distribuidoras de energia e prefeituras municipais, onde sugerem-se ainda o alargamento da profícua ação do PROCEL.

No Capítulo 8 se conclui pela procedência das sugestões elaboradas para eficiência energética nos projetos elétricos de consumidores e se incluem sugestões para estudos futuros dentro da cultura de conservação de energia.

São apresentadas as referências bibliográficas e anexos com parâmetros de cabos e transformadores.

2. AMBIENTE REGULATÓRIO

Os atuais desafios consistem em minimizar as perdas havidas nas transformações e transporte da energia, assim como minimizar os desperdícios da mesma nos seus diversos usos e utilidades de modo a se conservar a energia aumentando sua eficiência nas suas diversas etapas de transformação, transporte e consumo.

Na atualidade há a imperiosa necessidade de incorporar a questão da conservação de energia e suas conseqüências sociais e ambientais principalmente a nossa cultura no planejamento dos processos produtivos, pois seu adequado manejo, tem influência direta na qualidade de vida dos seres vivos. Esta forma de tratamento do setor energético talvez seja o mais importante postulado do desenvolvimento sustentável, e a sociedade brasileira, através do poder público, organizações não governamentais, instituições de ensino e instituições de direito privado, tem mostrado esta preocupação de várias formas incorporando o conceito de utilizar responsabilmente a energia, sem desperdício.

No setor da Energia Elétrica há varias ações efetivas para a busca continuada da eficiência energética nos diversos usos e aplicações desta energia que sabemos ser uma forma de energia altamente versátil, capaz de sua utilização pelos mais diferentes meios e para as mais diferentes finalidades.

Por esta energia se caracterizar como serviço público deve estar ao alcance de toda a sociedade, e devido a sua propriedade de ser um tipo de energia que não pode ser armazenada na sua própria forma, tem de ser consumida no mesmo instante em que é gerada a partir de qualquer das fontes primarias, necessitando para o atendimento da demanda requerida, um cuidadoso planejamento de modo a antecipar a oferta em relação a essa mesma demanda.²

Daí o dimensionamento adequado dos reservatórios para o armazenamento de energia primaria e das redes de transmissão e distribuição, para a potência elétrica de transporte, ajustando os valores das perdas aos mínimos possíveis.

Por isto há ainda a preocupação crescente quanto à eficiente utilização desta energia pelos consumidores, já que da forma que for feito o uso da energia influirá no planejamento do dimensionamento da demanda de potência a ser atendido pela distribuição, transmissão e geração do sistema elétrico.³

2 MOROZOWSKI FILHO, Marciano Características da Indústria de Energia Elétrica. Aula de Mestrado 2004

3. GÖNEN Turan Electric Power Distribution Systems Engineering Mc Graw Hill 1986

Embora a partir de fins do ano de 1985, quando da instituição do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL pela portaria interministerial MME/MIC nº. 1.877, de 30 de dezembro daquele ano, o governo já tivesse a preocupação com a eficiência energética no setor elétrico, foi com a crise de energia elétrica de 2000/2001, quando inclusive foi criada a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, que foi elaborada uma legislação que contempla diretamente a eficiência do uso da energia elétrica.

Em de 24 de julho do ano 2000 o governo sancionou a Lei Nº. 9.991, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e em 16 de julho de 2001 regulamentou esta Lei por meio do Decreto Nº. 3.867.

Em de 17 de outubro de 2001 foi sancionada a Lei Nº. 10.295, conhecida como a Lei da Eficiência Energética, que regula a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e em 19 de dezembro de 2001, o Decreto nº. 4.059 regulamentou essa Lei e instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, composto por representantes do Ministério de Minas e Energia, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional do Petróleo; um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, devendo serem todos especialistas em matéria de energia, a serem designados pelo Ministro de Estado de Minas e Energia.

Em de 11 de dezembro de 2002 o decreto Nº. 4.508 dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importada, para comercialização ou uso no Brasil.

Na atualidade, como já mencionado, há vários órgãos, governamentais, e não governamentais da sociedade que se ocupam da utilização eficiente da energia elétrica, a saber:

2.1 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ⁴

Fundada em 1940 é uma entidade privada, sem fins lucrativos, reconhecida como fórum nacional de normalização único, através da Resolução nº. 07 do CONMETRO, de 24 de Agosto de 1992.

4 – Página www.abnt.org.br

É a entidade responsável pela elaboração de normas técnicas, possibilitando as empresas brasileiras oferecerem produtos e serviços com a qualidade exigida no mercado. A partir de 1985 têm sido elaboradas e implementadas normas técnicas que incorporam as tecnologias de eficiência energética a vários produtos utilizados no consumo da energia elétrica.

2.2 ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ⁵

Autarquia em regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia criada pela Lei 9.427 de 26 de Dezembro de 1996. Suas atribuições são as de: regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica, atendendo interesses de agentes e consumidores com equilíbrio entre as partes e em benefício da sociedade, conceder, permitir e autorizar instalações e serviços de energia; garantir tarifas justas; zelar pela qualidade do serviço; exigir investimentos; estimular a competição entre os operadores e assegurar a universalização dos serviços. Sua missão ainda é proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade

No contrato de concessão firmado pela ANEEL com as empresas concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, são estabelecidas as obrigações e os encargos de concessionários e permissionários perante o poder concedente. Uma dessas obrigações consiste em aplicar anualmente o montante de no mínimo 0,5 % de sua receita operacional líquida da concessionária, em ações que tenham por objetivo o combate ao desperdício de energia elétrica na área de concessão, através de ações de eficiência energética.

Para o cumprimento desta obrigação as concessionárias apresentam à ANEEL, em data estabelecida em seu contrato de concessão, um conjunto de projetos que compreenderão ao seu Programa Anual de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, o qual deve conter metas físicas e financeiras observadas as diretrizes estabelecidas para a sua elaboração.

As diretrizes para elaboração dos Programas são aquelas definidas na citada Lei nº. 9.991, bem como aquelas contidas nas resoluções da ANEEL específicas para eficiência

A resolução ANEEL N° 456 /2000 estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica que devem ser acatadas por Concessionárias Permissionárias e Consumidores.

2.3 ABRADÉE-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA.⁶

Sociedade civil de direito privado, sem fins lucrativos, que reúne 51 concessionárias de distribuição de energia elétrica, estatais e privadas, atuantes em todas as regiões do país, responsáveis pelo atendimento de 99% do mercado brasileiro de energia elétrica. Foi criada formalmente em 1995, mas sua história teve início com a criação do Comitê de Distribuição (CODI), em agosto de 1975, órgão que já se dedicava ao desenvolvimento do setor de distribuição de energia elétrica no país.

De cada concessionária membro da associação, na atualidade está em vigor, um conjunto de normas, que regulam a ligação do consumidor a rede de distribuição da concessionária dos serviços de energia elétrica, atendendo as disposições da Resolução N° 456 da ANEEL.

2.4 ELETROBRÁS - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS.⁷

É uma empresa de economia mista e de capital aberto, criada em 1962 para promover estudos e projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações, destinadas ao suprimento de energia elétrica do país, a Eletrobrás controla empresas de geração e transmissão de energia elétrica cuja produção atinge a cerca de 60% dessa energia consumida no país.

A Eletrobrás também dá suporte a programas estratégicos do governo entre os quais se destaca o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL que é gerenciado técnica e financeiramente pela Eletrobrás.

Em 18 de julho de 1991, o PROCEL foi transformado em Programa de Governo, tendo suas abrangência e responsabilidade ampliada. Seu principal objetivo é a conservação da energia elétrica, tanto no lado da produção como no do consumo, concorrendo para a melhoria da qualidade de produtos e serviços, reduzindo os impactos ambientais e fomentando a criação de empregos. Para, o PROCEL desenvolve projetos nas mais diversas áreas.

6 – Página da ABRADÉE www.abradee.org.br

7 – Página da ELETROBRÁS www.eletrabras.gov.br

O perfil do consumo de energia elétrica no Brasil apresenta o setor industrial como o maior consumidor de toda a energia elétrica produzida, utilizando 44%, o uso residencial vem a seguir, com um consumo de 25% e o uso comercial com 16% os restantes 15% distribuem-se entre setor rural, iluminação pública, órgãos do governo e outros.

Para planejamento do setor elétrico, o PROCEL estabelece metas de redução de consumo e de conservação de energia dimensionando as necessidades de expansão da oferta de energia, tais como a redução nas perdas técnicas das concessionárias, a racionalização do uso da energia elétrica e o aumento da eficiência energética em aparelhos elétricos.

Assim uma das metas do PROCEL tem sido a redução das perdas técnicas na transmissão e distribuição das concessionárias para um valor próximo aos 10%, e com a adoção do Selo PROCEL de eficiência energética nos eletrodomésticos, espera-se um aumento médio de 10% no desempenho dos equipamentos de consumo que participem do programa.

O programa PROCEL - EDIFICA está estruturado com uma articulação entre diversas entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, que através de um enfoque multisetorial e multidisciplinar, promova a conservação e o uso eficiente da energia elétrica, reduzindo os desperdícios e impactos sobre o meio ambiente.

As atividades previstas no Plano de Ação para do Desenvolvimento da Eficiência Energética em Edificações busca o desenvolvimento de requisitos básicos para arquitetura bioclimática, indicadores de eficiência energética em edificações, certificação de materiais e equipamentos, procedimentos para regulamentação e/ou legislação, mecanismos para aporte de recursos financeiros e remoção de barreiras para implementação de projetos, projetos educacionais e projetos de interesse social.

A classe industrial é a de maior consumo de energia elétrica do País, chegando a valores de 44% a 45,5% do consumo global, sendo também responsável por expressiva parcela de desperdício de energia.

Os sistemas motrizes, responsáveis por quase 50% do consumo do setor industrial, apresentam o maior potencial de redução de perdas. Constituídos por motores elétricos, acionamentos e acoplamentos, bombas, compressores, correias transportadoras, ventiladores e exaustores, esses sistemas são responsáveis por 22,75% da energia total consumida no país.

Assim para o estímulo ao setor industrial nas ações de redução do desperdício de energia elétrica, o Programa de Eficiência Energética Industrial, PROCEL INDÚSTRIA,

vem celebrando convênios com as Federações das Indústrias estaduais, visando desenvolver o Programa, tendo como foco a redução de perdas nos sistemas motrizes nas indústrias.

Ainda o PROCEL tem atuação no comércio, saneamento, educação, nos prédios do setor público, na gestão energética nos municípios e na iluminação pública.

Este é em linhas gerais o ambiente regulatório em que se desenvolve a eficiência energética nos sistemas de energia elétrica.

RESUMO

No que diz respeito à eficiência energética das instalações elétricas de consumidores o marco regulatório é composto pelas normas técnicas elaboradas e publicadas pela ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, a legislação de regulação estabelecida pela ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica, os padrões para ligação dos consumidores ao sistema elétrico das concessionárias representadas pela sua entidade ABRADDEE Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica.

Nesse marco regulatório há de se inserir nos projetos de instalações elétricas de consumidores, a cultura da eficiência energética desenvolvida e construída pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL que é gerenciado técnica e financeiramente pela ELETROBRÁS Centrais elétricas Brasileiras.

3. PROPOSTA PARA O PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS

3.1- A OBRA DE CONSTRUÇÃO PREDIAL.

A obra de construção predial pela sua precípua característica é dirigida e gerida por engenheiros civis, que majoritariamente pela sua formação não possuem uma cultura que lhes faça cuidar da eficiência da energia elétrica.

Muito embora os projetos elétricos de instalações prediais sejam elaborados por engenheiros eletricitas, é sempre obedecido por estes, o critério de diretriz gerencial do “menor custo” no projeto e na construção predial, que em muitos casos não resulta ser o mais econômico devido a ausência de rigor técnico nas especificações de materiais e equipamentos, e a adoção e obediência de normas e padrões que não incorporam com a suficiente agilidade os avanços tecnológicos e as técnicas do aprimoramento do rendimento energético, procedimentos estes, que dão origem a instalações elétricas prediais ineficientes.

Por outra parte os órgãos dos municípios que cuidam do ordenamento e uso do solo, e os conselhos regionais de engenharia e arquitetura, encarregados da fiscalização destas obras, utilizam normas e regulamentos próprios nas suas verificações que tampouco incorporam qualquer preocupação com a eficiência energética.

3.2- O PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA PREDIAL

Os projetos de instalações elétricas prediais supridas em tensão primária devem obedecer às recomendações técnicas contidas nas normas ABNT NBR 14039 “Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV” e ABNT NBR 5410, “Instalações elétricas de Baixa Tensão”.

Além das normas técnicas, estes projetos devem obedecer aos padrões de fornecimento de energia, ou normas para o fornecimento de energia, da concessionária do serviço público de energia elétrica no município onde se localiza o empreendimento objeto do projeto.

A recepção da energia elétrica, em tensão primária, se dá por meio de uma subestação abaixadora, localizada nos pavimentos térreos ou subsolo, obrigando com isto, que o suprimento de energia em baixa tensão as unidades consumidoras situadas nos pavimentos superiores seja feito por alimentadores construídos em cabos isolados dentro de eletrodutos.

Estes alimentadores são dimensionados no projeto com uma queda de tensão máxima de 2% deixando no máximo para que 5% da queda de tensão seja dentro de cada unidade consumidora do prédio, em obediência à norma NBR 5410, que estabelece no item 6.2.7, que a queda de tensão verificada não deve ser superior a 7%.

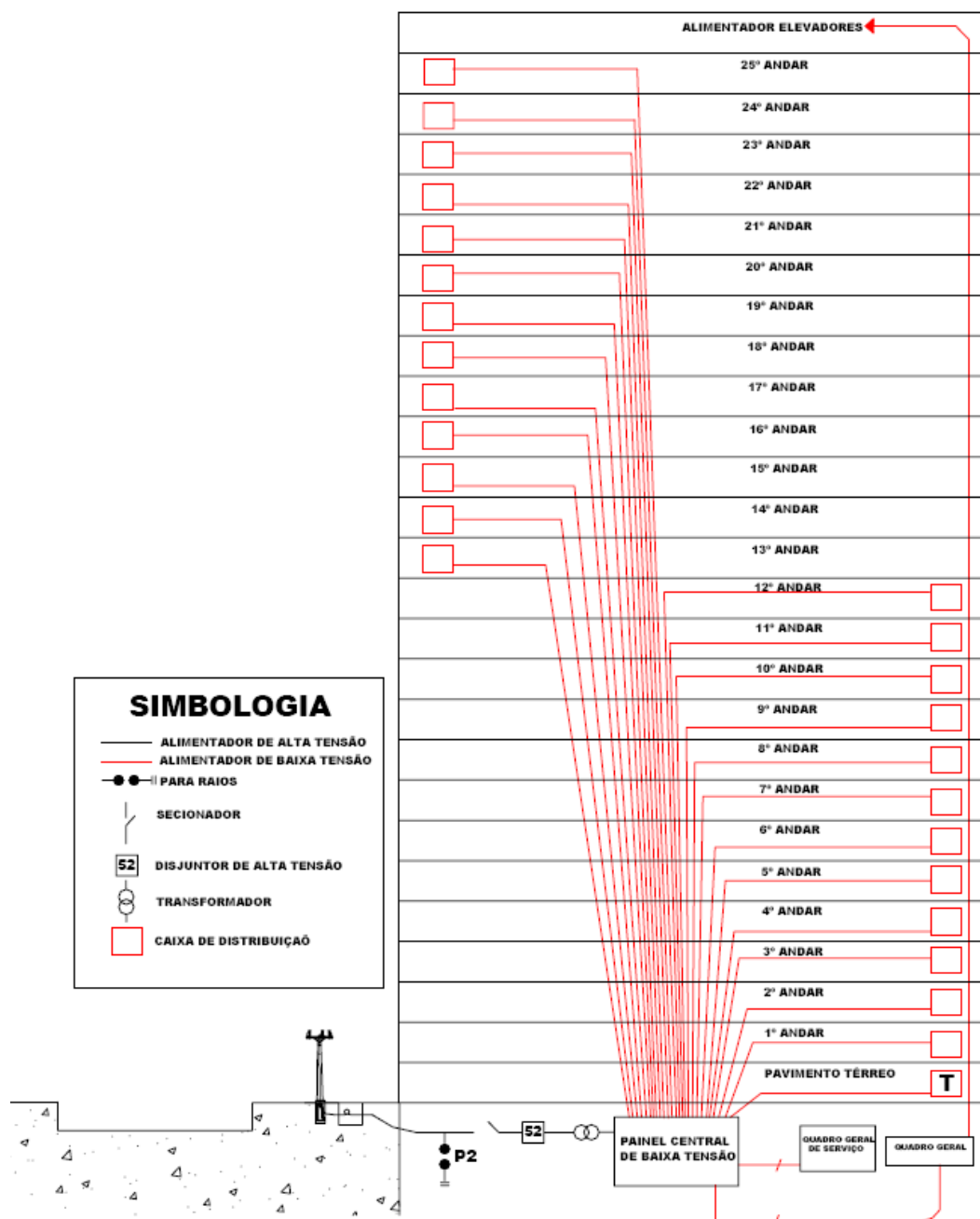


Figura 3.1 Suprlimento Convencional

Este percentual de queda de tensão é calculado a partir dos terminais secundários do transformador abaixador, no caso de transformador de propriedade da empresa distribuidora de energia elétrica ou de propriedade do condomínio do prédio com unidades consumidoras, quando o ponto de entrega for aí localizado.

As instalações elétricas assim projetadas para prédios residenciais ou de escritórios contém perdas de energia de projeto quando da sua operação, devidas às perdas havidas nos cabos alimentadores e nos transformadores da subestação primária abaixadora de suprlimento.

O conjunto de fatores como os citados, concorre para este desperdício de energia, nas instalações que se torna necessário corrigir.

As perdas de energia nos cabos primários e secundários são dadas por,

$$p_{\xi c} = \int_0^t R \cdot I^2 dt$$

Onde,

$p_{\xi c}$: Perdas de energia no cabo

R: Resistência ôhmica do cabo

I: Corrente no cabo no período de tempo considerado

t: Período de tempo considerado

A norma ABNT NBRNM 280 “Condutores para cabos isolados” publicada em abril de 2002, baseada na norma IEC 60228, fixa os valores máximos de resistência dos fios condutores, na temperatura de 20°C, das varias bitolas normalizadas, para a formação dos cabos isolados.

Os fabricantes de cabos isolados informam nos seus catálogos técnicos os valores de resistência, em Ω/km , para cada bitola de cabo em corrente alternada na temperatura de trabalho do condutor, de acordo com seu isolamento.

Nos transformadores as perdas de energia são iguais a,

$$p_{\xi t} = \int_0^t (P_o + \lambda^2 \cdot P_c) dt$$

Onde,

$p_{\xi t}$: Perdas de energia no transformador

P_o Perdas em vazio ou no ferro do transformador.

λ :Fator de demanda de potência no período de tempo considerado.

P_c Perdas em carga ou no cobre do transformador.

t: Período de tempo considerado.

A norma ABNT NBR 5440 padroniza os transformadores para redes de distribuição estabelecendo entre outros, os valores garantidos de perdas, correntes de excitação e tensões de curto circuito.

Este tipo de transformador trifásico normalizado isolado em óleo mineral, é também utilizado costumeiramente nas subestações abaixadoras nas instalações elétricas prediais supridas em tensão primária.

Quanto aos condutores, o cabo fabricado de menor bitola para tensão primária de distribuição classe 8,7/15 kV é normalmente de 25 mm², que ao formar um alimentador trifásico com os três cabos dispostos em trifólio, dentro de eletroduto, tem uma capacidade de condução de corrente de 114 ampéres, o que corresponde a uma potência de 2606 kVA em tensão de distribuição normalizada de 13,2 kV, potência esta mais do que o suficiente para o abastecimento de energia a prédios residenciais e para uma ampla quantidade de prédios de escritórios.

Ainda o cabo este cabo de bitola de 25 mm² apresenta uma queda de tensão de 0,15% e 0,13% para a condução de corrente de 114 ampéres com fator de potência de 0,92 em um comprimento de 100 metros de condutor para as tensões primárias de distribuição de 11,4 kV e 13,8 kV respectivamente.

Como no suprimento de energia a edificações de uso coletivo, o ramal de entrada fica na maioria dos casos com comprimentos inferiores a 100 metros, a bitola de condutor de 25 mm² atende as recomendações contidas na norma ABNT NBR 14039, que dispõe que o ramal de entrada, deve apresentar um valor máximo de 5% de queda de tensão a partir do ponto de ligação da rede da concessionária até o ponto de conexão com a subestação abaixadora localizada no prédio.

Para diminuir as perdas e aumentar a eficiência energética no suprimento de energia ao prédio e as suas unidades consumidoras, propõe-se elaborar projetos de fornecimento de energia em tensão primária com unidades transformadoras de pequena potência, localizadas ao longo da maior dimensão linear do prédio, no caso da ilustração da figura 3.1, da altura do prédio, fornecendo energia aos setores em que será decomposta a carga total do prédio, por apresentar as vantagens energéticas a seguir:

- A perda de energia nos condutores alimentadores, em tensão primária, será consideravelmente reduzida devido à menor circulação de corrente.
- Os transformadores de pequena potência propostos para o fornecimento de energia aos setores em é dividida a carga total do prédio, ao serem dimensionadas com a relação de perdas, em carga **P_c**, e em vazio **P₀**

$$r_p = \frac{P_c}{P_0} .$$

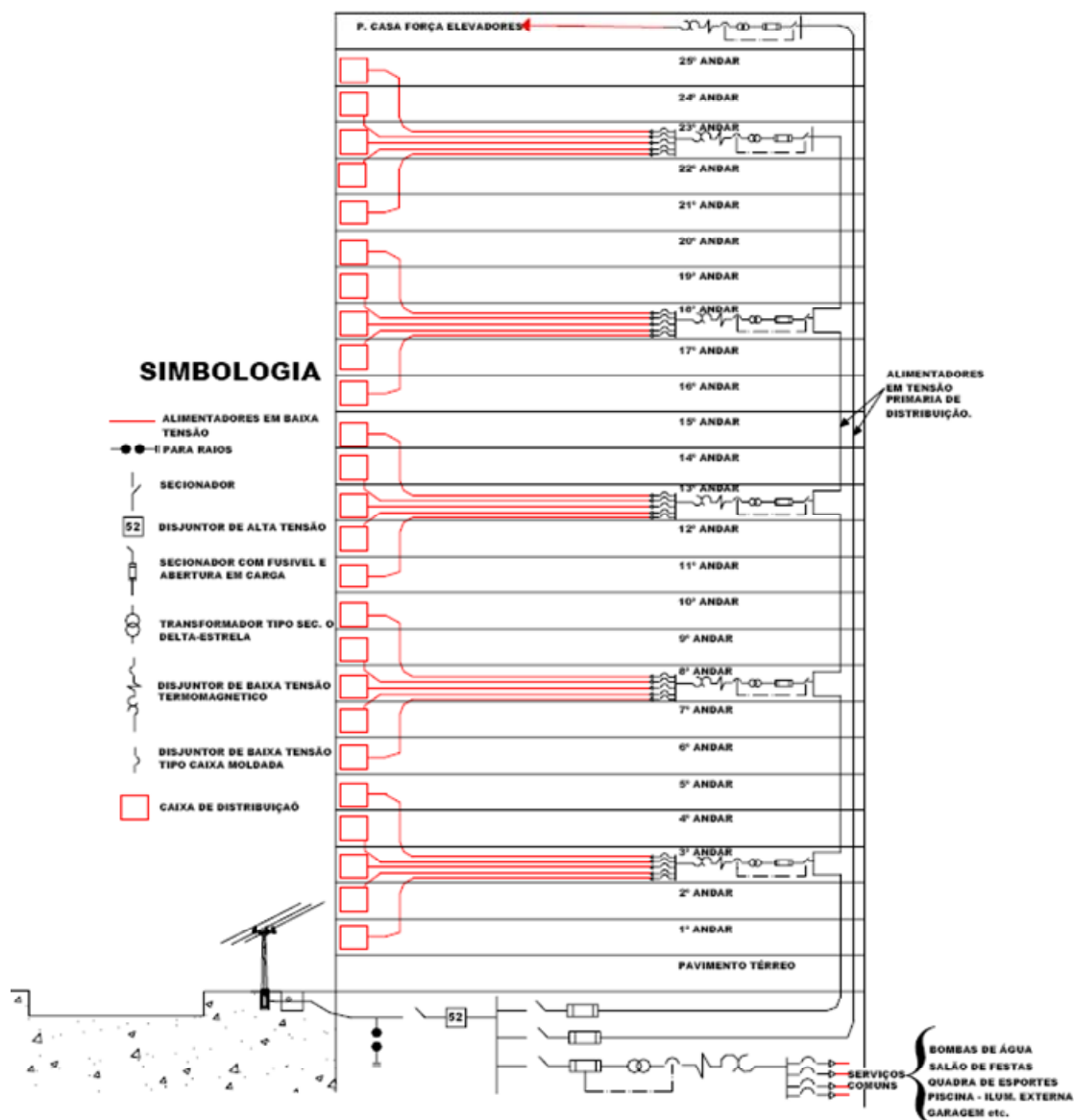


Figura 3.2 Suprimento Alternativo Proposto

ajustada ao seu carregamento, trabalharão com o rendimento, adequado à demanda de suprimento e conseqüentemente sua operação será a mais econômica como mostrado no estudo de caso do capítulo 4.

- Os alimentadores em baixa tensão a partir de cada unidade transformadora serão dimensionados com um percentual mínimo de queda de tensão com a finalidade de reduzir perdas de energia devido aos menores valores de resistência ôhmica.

- Além destas vantagens energéticas, há de se mencionar que com unidades transformadoras de pequeno porte são reduzidos os valores de curto circuito dos equipamentos de manobra controle e proteção o que permite minimizar os riscos de sinistros provocados por faltas com arco em atenção à norma IEEE Std. 1584-2002/2004 “IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations”.

Cada unidade transformadora estará constituída por um transformador seco normalizado de acordo com a norma ABNT NBR 10295 “Transformadores de Potência Secos,” com proteções constantes de chave fusível de abertura em carga e manobra externa, em tensão primária, e disjuntor termomagnético em tensão secundária, intertravado eletricamente com a chave primária.

A unidade transformadora assim projetada poderá ficar abrigada em alvenaria ou em cubículo metálico de acordo a norma ABNT NBR 6979 “Conjuntos de manobra e controle em invólucro metálico para tensões de 1 kV até 36 kV. – Especificação”.

A alimentação em baixa tensão das unidades consumidoras será projetada com cabos isolados de classe 0,6/1 kV, observando baixos valores como máximos de queda de tensão entre o barramento secundário de baixa tensão e o quadro principal da unidade consumidora.

Todas estas providencias são adotadas visando eliminar ao máximo o desperdício de energia nos elementos principais da instalação elétrica predial de uso coletivo como são os cabos e transformadores.

Como normalmente os medidores de energia são agrupados na sua totalidade nos pavimentos inferiores ou em parte em cada andar das unidades consumidoras, a instalação elétrica projetada desta maneira, poderá ainda incorporar para estes consumidores em baixa tensão alternativamente, a telemedição da energia mensal para faturamento via internet a critério da concessionária ou do poder concedente, coma já é feito com os grandes consumidores de ELETROPAULO⁸ e COPEL⁹.

Alternativamente, também a critério da concessionária ou do poder concedente, essa medição de energia poderá ser feita com transdutores de medição com tensão de controle.

Com esta proposta de projeto elétrico predial pretende-se mostrar a redução de perdas de projeto para viabilizar sua implementação.

8 – Página ELETROPAULO www.eletropaulo.com.br

9 – Página COPEL www.copel.com

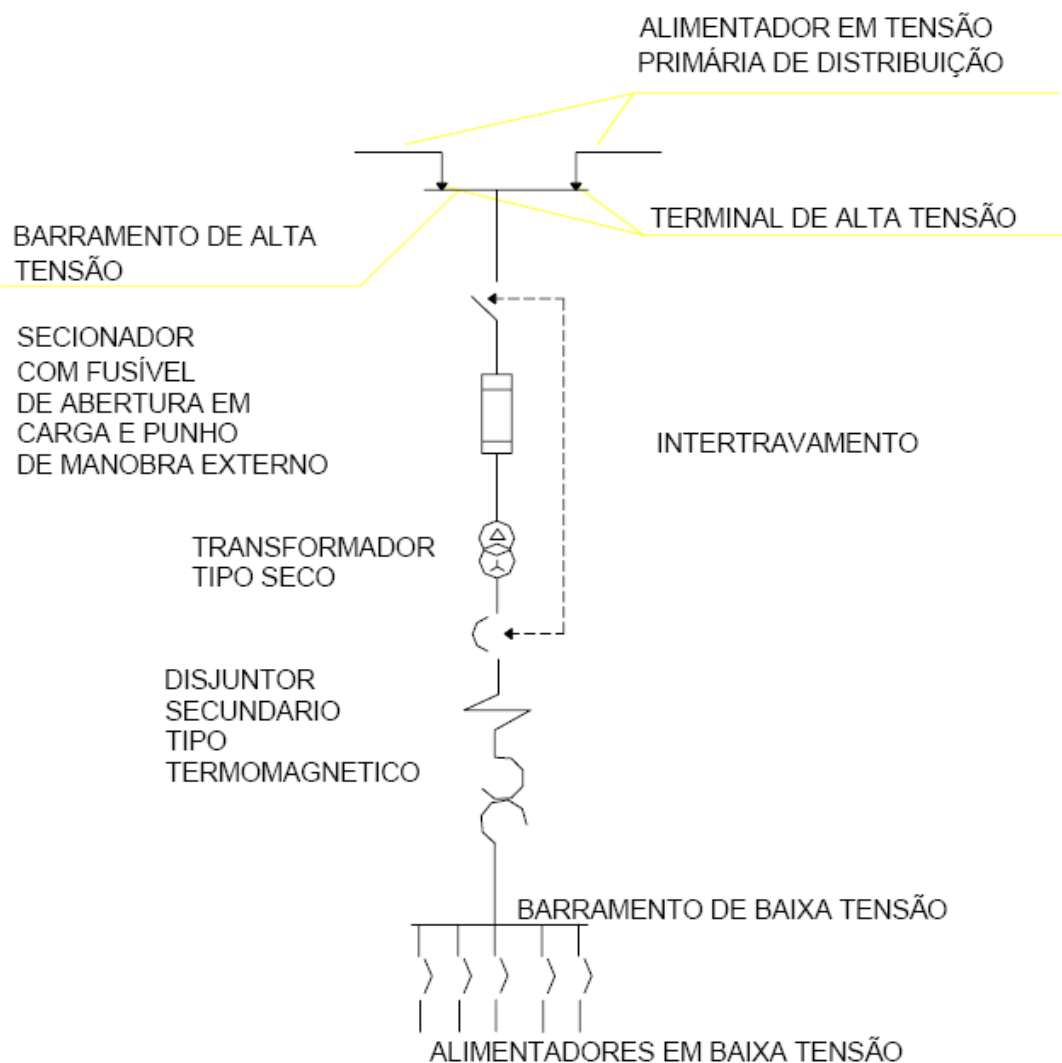


Figura 3.3 Subestação Unitária para suprimento de Grupos de cargas

RESUMO

È proposto a elaboração de um projeto alternativo de instalação elétrica predial de uso coletivo, que incorpora a eficiência energética no dimensionamento de seus componentes principais tais como condutores de alimentadores, onde se propõe limitar a queda de tensão, e transformadores para os quais é proposto seu dimensionamento econômico das perdas ajustado ao seu carregamento.

4. ESTUDO DE CASO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS

A seguir é apresentado um estudo comparativo de suprimento de energia a um prédio de apartamentos, primeiro na modalidade convencional e logo após na modalidade proposta no capítulo 3 anterior.

Suprimento de Energia a Prédio de Apartamentos

Aplicado às diretrizes do CODI¹⁰, Comitê de Distribuição calculamos a demanda em kVA para um prédio de 25 andares, com dois apartamentos por andar: tendo cada um deles uma área útil de 325 m².

O condomínio do prédio possui dois elevadores sociais e um elevador de serviço, garagem com três vagas por apartamento, salão de festas quadra esportiva saunas e piscina.

A. - Demanda de potência aparente por apartamento.

Área útil do apartamento:

$$A := 325 \text{ m}^2$$

Demanda do apartamento,¹⁰

$$D_a := 0.034939 \cdot A^{0.895075} \quad D_a = 6,189 \text{ kVA}$$

B. - Demanda de potência aparente dos 25 apartamentos.

Fator de diversidade em função do número de apartamentos, $fd=20,46$

Demanda dos apartamentos,

$$D_{aptos} := D_a \cdot fd \quad D_{aptos} = 126,631 \text{ kVA}$$

C. - Demanda de potência aparente do Condomínio.

C1. - Elevadores

São três elevadores, dois sociais e um de serviço com capacidade de transporte de 20 pessoas sendo o peso da carga estimada do conjunto, incluindo a cabine de,

$$C := 3400 \text{ kgf}$$

A velocidade de transporte de: $V=1,75 \text{ m/seg}$

Alívio de carga com contrapeso: $k=0,6 \text{ p.u.}$

Rendimento do motor: $\eta_c=0,8$

Aceleração de gravidade: $g=9,80665 \text{ m/seg}^2$

$$\text{Assim a potência do elevador fica então: } P_c := \frac{g \cdot C \cdot V \cdot k \cdot 10^{-3}}{\eta_c} \quad P_c = 43,762 \text{ kW}$$

Com as equivalências, $HP=0,745699871582 \text{ kW}$ e $CV=0,735499 \text{ kW}$

teríamos motores com potência normalizada de:

$$P_{mc1} := \frac{P_c}{HP} \quad P_{mc1} = 58,686 \text{ ou } 60 \text{ HP} \quad \text{e} \quad P_{mc2} := \frac{P_c}{CV} \quad P_{mc2} = 59,5 \text{ ou } 60 \text{ CV}$$

Potência do Motor $P_e := 60 \text{ CV}$

Fator de potência $fp_e = 0,86$

Rendimento $\eta_e = 0,936$

Potência aparente do Motor:

$$S_e := \frac{P_e \cdot CV}{fp_e \cdot \eta_e} \cdot e^{(j \cdot \arccos(fp_e))}$$

$$S_e = 46.997 + 27.886i \quad \text{kVA} \quad |S_e| = 54,647 \text{ kVA}$$

A potência ativa absorvida pelo motor é:

$$P_e := \text{Re}(S_e) \quad P_e = 46,997 \text{ kW}$$

e a potência reativa absorvida pelo motor é:

$$Q_e := \text{Im}(S_e) \quad Q_e = 27,886 \text{ kVAR}$$

Para correção do fator de potência instalamos em cada motor condensador de 20 kVAR reduzindo a demanda por motor para

$$S_{ec} := S_e + (-i \cdot 20) \quad S_{ec} = 46.997 + 7.886i$$

$$|S_{ec}| = 47,654 \text{ kVA} \text{ e o fator de potência corrigido fica em}$$

$$fp_{ec} := \frac{P_e}{|S_{ec}|} \quad fp_{ec} = 0,986$$

Considerando iluminação e controle do cada elevador em 5 kVA por unidade, a carga elétrica total fica em,

$$S_{et} := 3 \cdot |S_{ec}| + 3 \cdot |5| \quad S_{et} = 157,961 \text{ kVA}$$

Fator de demanda $fp_{el} = 0,65$

C2. - Iluminação áreas comuns.

Circulação

Nas áreas de circulação considera-se uma densidade de potência de: $\delta_{pc} := 20 \text{ VA/m}^2$ considerando iluminação e tomadas de serviço.

Cada andar conta com uma área comum de circulação de $a_c := 60 \text{ m}^2$,

daqui então por andar considera-se uma potencia aparente total de,

$$S_{ac} := \delta_{pc} \cdot a_c \cdot 25 \cdot 10^{-3} \quad S_{ac} = 30 \quad \text{kVA Fator de demanda } fp_c = 0,4$$

Considerando que a iluminação destas áreas será controlada por sensores de presença.

Playground

Para o playground com área de, $a_p := 200 \text{ m}^2$

considera-se uma densidade de potência de: $\delta_{pp} := 25 \text{ VA/m}^2$

de onde se teria uma potencia instalada de,

$$S_{ap} := \delta_{pp} \cdot a_p \cdot 10^{-3} \quad S_{ap} = 5 \quad \text{kVA Fator de demanda } fd_{pg} = 0,8$$

Salão de Festas

Para o salão de festas considera-se uma densidade de potência de: $\delta_{pf} := 90 \text{ VA/m}^2$

Incluindo-se o sistema de ar condicionado, e tendo uma área útil de: $a_f := 300 \text{ m}^2$

tem-se uma potencia instalada de,

$$S_{af} := \delta_{pf} \cdot a_f \cdot 10^{-3} \quad S_{af} = 27 \quad \text{kVA Fator de demanda } fd_{sf} = 0,4$$

Quadra Poli - Esportiva

A quadra poli - esportiva tem uma área de: $a_{pe} := 600 \text{ m}^2$

Considera-se uma densidade de potência de: $\delta_{pe} := 60 \text{ VA/m}^2$

Assim tem-se uma potencia instalada de,

$$S_{pe} := \delta_{pe} \cdot a_{pe} \cdot 10^{-3} \quad S_{pe} = 36 \quad \text{kVA Fator de demanda } fd_q = 0,6$$

Sauna e Piscina

Estima-se uma potência instalada de: $S_{sp} := 30 \text{ kVA}$ Fator de demanda $fd_{sp} = 0,9$

Garagem

A garagem tem uma área de: $a_g := 1200 \text{ m}^2$, e considera-se uma densidade de potência de

$$\delta_g := 15 \text{ VA/m}^2$$

Assim tem-se uma potencia instalada de,

$$S_g := a_g \cdot \delta_g \cdot 10^{-3} \quad S_g = 18 \quad \text{kVA Fator de demanda } fd_g = 0,25$$

Considerando que a iluminação destas áreas será controlada por sensores de presença.

Área Externa

Estima-se uma potência instalada de,

$$S_{ae} := 10 \quad \text{kVA Fator de demanda } fd_{ae} = 0,5$$

DEMANDA DO PRÉDIO.

| Demanda de Acordo CODI | kVA |
|--|----------------|
| Demanda cada Apartamento | 6,189 |
| Demanda 25 Apartamentos | 126,631 |
| Demanda 3 Elevadores | 102,675 |
| Demanda Área Circulação | 12,000 |
| Demanda Playground | 4,000 |
| Demanda Salão de Festas | 10,800 |
| Demanda Quadra Poli Esportiva | 21,600 |
| Demanda Sauna e Piscina | 27,000 |
| Demanda Garagem | 4,500 |
| Demanda Área Externa | 5,000 |
| Demanda total Estimada | 371,647 |
| $D_{tp} = 371,647$ kVA | |

4.1 DIMENSIONAMENTO CONVENCIONAL

Será elaborado o dimensionamento convencional, com uma subestação transformadora de 13,2-0,22 kV com transformadores isolados em óleo, localizada no subsolo do prédio e localizando os medidores de energia no mesmo pavimento.

Tensão de Utilização $V_2 := 220$ Volts 3 fases + neutro

Na instalação convencional podemos utilizar como fonte de suprimento uma subestação primária com dois transformadores de 225 kVA 13,2/022 kV

Assim a subestação do prédio ficaria

Transformador $S_{t1} = 225$ kVA, Transformador $S_{t2} = 225$ kVA.

Para o dimensionamento dos alimentadores foram adotados valores médios de resistência e reatância, encontrados após verificações feitas em catálogos técnicos de diversos fabricantes.

Cabos Primários classe 8,7/15 kV

Tensão primária $V_1 = 13,2$ kV

$$\text{Corrente Primária: } I_1 := \frac{S_{t1} + S_{t2}}{\sqrt{3} \cdot V_1} \quad I_1 = 19,682 \text{ A}$$

$$\text{Carregamento dos transformadores: } \lambda := \frac{D_{tp}}{S_{t1} + S_{t2}} \quad \lambda = 0,826$$

$$\text{Corrente efetiva nos cabos primários: } I_{1e} := I_1 \cdot \lambda \quad I_{1e} = 16,255 \text{ A}$$

$$\text{Comprimento total dos cabos } L_1 := 50 \text{ metros Bitola do cabo } s := 25 \text{ mm}^2$$

Verificam-se as perdas de energia de cabos com isolamento em cloreto de polivinila PVC, borracha etileno - propileno EPR e polietileno reticulado XLPE

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C: $R_{pvc} = 0,86415 \Omega/\text{km}$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{ad} := 118 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi pvc} := 3 \cdot R_{pvc} \cdot \frac{L I}{1000} \int_0^{8760} I_{le}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvc} = 300,04 \text{ kWh}$$

Resistência do Cabo com isolamento EPR a 90°C: $R_{epr} = 0,92793 \Omega/\text{km}$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{adepr} := 141 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi epr} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L I}{1000} \int_0^{8760} I_{le}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi epr} = 322,18 \text{ kWh}$$

Resistência do Cabo com isolamento XLPE a 90°C $R_{xlpe} = 0,92758 \Omega/\text{km}$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{adxlpe} := 141 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi xlpe} := 3 \cdot R_{xlpe} \cdot \frac{L I}{1000} \int_0^{8760} I_{le}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi xlpe} = 322,06 \text{ kWh}$$

Em obediência a norma ABNT NBR 14039 “Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV”, se escolhe utilizar cabos primários classe 8,7/15 kV com isolamento em borracha etileno propileno EPR.

Características dos Transformadores

Os transformadores com isolamento em óleo mineral foram dimensionados de acordo as recomendações da norma ABNT NBR 5440

Transformadores classe 15 kV 13,2-0,22 kV isolados em óleo mineral.

Potência nominal continua $S_t := 225 \text{ kVA}$

Perdas em vazio ou no ferro $P_o := 900 \text{ Watts}$

Perdas em carga ou no cobre $P_c := 2700 \text{ Watts}$

Perda de energia nos transformadores no período de um ano,

$$P_{\xi t} := 2 \cdot \int_0^{8760} P_o + (\lambda^2 \cdot P_c) dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi xt} = 48.033,21 \text{ kWh}$$

Características dos Transformadores secos

Os parâmetros dos transformadores secos são valores médios fornecidos por fabricantes.

Transformadores classe 15 kV 13,2-0,22 kV encapsulados em resina isolante

Potência nominal continua $S_t := 225$ kVA

Perdas em vazio ou no ferro $P_o := 900$ Watts

Perdas em carga ou no cobre $P_c := 3049$ Watts

Perda de energia nos transformadores no período de um ano,

$$P_{\xi ts} := 2 \cdot \int_0^{8760} P_o + (\lambda^2 \cdot P_c) dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi xts} = 52.203,78 \text{ kWh}$$

Por segurança, e para evitar obras civis para drenagem do óleo dos transformadores em caso de sinistro opta-se por utilizar transformadores secos isolados em resina isolante.

Cabos Secundários classe 0,6/1 kV

Cabos secundários de cada transformador até o barramento de 0,22 kV,

$$\text{Corrente Secundária: } I_2 := \frac{S_{t1}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_2 = 590,472 \text{ A}$$

$$\text{Carregamento dos transformadores: } \lambda := \frac{D_{tp}}{S_{t1}} \quad \lambda = 0,826$$

Corrente efetiva nos cabos secundários de cada transformador: $I_{2e} := I_2 \cdot \lambda \quad I_{2e} = 487,66 \text{ A}$

Comprimento total dos cabos $L_2 := 15$ metros Bitola do cabo $s := 500$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C $R_{pvcs} = 0,05143$ Ω/km

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{ads} := 604$ A

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi pvcs} := 6 \cdot R_{pvcs} \cdot \frac{L_2}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{2e}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvcs} = 9.642,69 \text{ kWh}$$

Resistência do Cabo com isolamento EPR a 90°C $R_{eprs} = 0,05374$ Ω/km

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{adeprs} := 722 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi eprs} := 6 \cdot R_{eprs} \cdot \frac{L_2}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{2e}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi eprs} = 10.075,79 \text{ kWh}$$

Resistência do Cabo com isolamento XLPE a 90°C $R_{xlpes} = 0,05373 \text{ } \Omega/\text{km}$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{adxlpes} := 722 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi xlpes} := 6 \cdot R_{xlpes} \cdot \frac{L_2}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{2e}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi xlpes} = 10.073,92 \text{ kWh}$$

Não existindo restrições das normas técnicas, e considerando a menor perda de energia calculada, projetar-se-á cabos com isolamento de cloreto de polivinila em baixa tensão.

Alimentadores principais.

Alimentador para o Quadro dos elevadores, que ficará na Sala de máquinas da cobertura.

Corrente do alimentador,

$$I_{el} := \frac{S_{et}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_{el} = 414,541 \text{ A}$$

Corrente efetiva nos cabos do alimentador

$$I_{efe} := I_{el} \cdot f_{d_{el}} \quad I_{efe} = 269,452 \text{ A}$$

Comprimento total dos cabos $L_3 := 100$ metros

Bitola do cabo $s := 300 \text{ mm}^2$

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C $R_{pvcel} = 0,07968 \text{ } \Omega/\text{km}$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{adel} := 475 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi pvcel} := 3 \cdot R_{pvcel} \cdot \frac{L_3}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{efe}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvcel} = 14.688,10 \text{ kWh}$$

Alimentador para cada apartamento.

Corrente do alimentador, considerando fator de potência $f_{p_a} = 0,92$

$$I_a := \frac{1.25 \cdot D_a \cdot fp_a}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_a = 18,679 \text{ A}$$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{ad25} := 99 \text{ A}$

Comprimento dos cabos para os apartamentos do 25º Andar $L_{25} := 100 \text{ metros}$

Bitola do cabo $s := 25 \text{ mm}^2$

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C $R_{pvc25} = 0,86715 \text{ } \Omega/\text{km}$

Reatância Indutiva do Cabo com isolamento de PVC $Xl_{pvc25} = 0,11628 \text{ } \Omega/\text{km}$

Queda de tensão no alimentador,

$$\Delta V_{25\%} := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_a| \cdot L_{25} \cdot \left| \frac{R_{pvc25}}{1000} \cdot \cos(\text{acos}(fp_a)) + \frac{Xl_{pvc25}}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp_a)) \right| \cdot 100}{V_2}$$

$$\Delta V_{25} = 1,2402 \%$$

Suportabilidade ao curto circuito,

$$I_{k25} := 0.3401 \cdot 25 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.5} \cdot \log\left(\frac{160 + 234.5}{70 + 234.5}\right)} \quad I_{k25} = 4,032 \text{ kA}$$

Perda de energia anual nos cabos de alimentação aos apartamentos do 25º andar,

$$P_{\xi pvc25} := 6 \cdot R_{pvc25} \cdot \frac{L_{25}}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_a^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvc25} = 1.590,18 \text{ kWh}$$

Cálculos similares são adotados para o dimensionamento de todos os alimentadores em baixa tensão para os apartamentos do prédio, observando-se manter os mesmos com uma queda de tensão nunca superior a 1,5 %

Desta forma, foram dimensionados cabos alimentadores com isolamento em cloreto de polivinila de classe 0,6/1 kV nas bitolas de 25 mm², 16 mm² e 10 mm².

Nos dimensionamentos dos comprimentos dos cabos alimentadores aos apartamentos foi considerada uma folga padrão de 15 %, objetivando prevenir eventuais pequenas reformas que o usuário pode vir a fazer na sua unidade consumidora.

Com estas premissas de cálculo foi construída a tabela 4.-1.1 a seguir onde se mostra o dimensionamento dos alimentadores aos 25 andares de apartamentos do prédio contendo comprimento, bitola, queda de tensão porcentual e perda anual de energia.

| Andar N° | Comprimento m | Bitola Cabo mm ² | Queda de Tensão % | Perda de Energia Anual kWh |
|---|------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1° | 29 | 10 mm ² | 0,876% | 1178,55 |
| 2° | 32 | 10 mm ² | 0,966% | 1278,400 |
| 3° | 35 | 10 mm ² | 1,057% | 1398,250 |
| 4° | 38 | 16 mm ² | 0,779% | 1020,392 |
| 5° | 41 | 16 mm ² | 0,840% | 1100,949 |
| 6° | 44 | 16 mm ² | 0,902% | 1181,506 |
| 7° | 47 | 16 mm ² | 0,963% | 1262,064 |
| 8° | 50 | 16 mm ² | 1,025% | 1342,621 |
| 9° | 53 | 16 mm ² | 1,086% | 1423,178 |
| 10° | 56 | 16 mm ² | 1,148% | 1503,735 |
| 11° | 59 | 16 mm ² | 1,209% | 1584,293 |
| 12° | 61 | 16 mm ² | 1,250% | 1637,998 |
| 13° | 64 | 25 mm ² | 0,794% | 1017,718 |
| 14° | 67 | 25 mm ² | 0,831% | 1065,424 |
| 15° | 70 | 25 mm ² | 0,868% | 1113,129 |
| 16° | 73 | 25 mm ² | 0,905% | 1160,835 |
| 17° | 76 | 25 mm ² | 0,943% | 1208,540 |
| 18° | 79 | 25 mm ² | 0,980% | 1256,246 |
| 19° | 82 | 25 mm ² | 1,017% | 1303,952 |
| 20° | 85 | 25 mm ² | 1,054% | 1351,657 |
| 21° | 88 | 25 mm ² | 1,091% | 1399,363 |
| 22° | 91 | 25 mm ² | 1,129% | 1447,068 |
| 23° | 94 | 25 mm ² | 1,166% | 1494,774 |
| 24° | 97 | 25 mm ² | 1,203% | 1542,479 |
| 25° | 100 | 25 mm ² | 1,240% | 1590,185 |
| Total perda de energia anual nos alimentadores | | | | 32803,306 |

Tabela 4.-1.1 Dimensionamento dos alimentadores aos andares do prédio

Alimentadores ao quadro Geral de serviços

Este quadro suprirá as áreas de Playground, Salão de festas, Quadra Poli esportiva, Sauna e piscina garagem e Área externa: $S_{cg} = 126$ kVA

A demanda deste quadro é aproximadamente: $D_{cg} = 72,9$ kVA

Corrente máxima nos alimentadores: $I_{cg} := \frac{S_{cg}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}}$ $I_{cg} = 330,664$ A

Corrente de demanda máxima nos alimentadores $I_{cgd} := \frac{D_{cg}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}}$ $I_{cgd} = 191,313$ A

Comprimento total dos cabos $L_{cg} := 20$ metros Bitola do cabo $s := 185$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C $R_{pvccg} = 0,12060$ Ω/km

Reatância Indutiva do Cabo com isolamento de PVC $Xl_{pvccg} = 0,09811$ Ω/km

Queda de tensão no alimentador, considerando fator de potência $fp_{cg} = 0,92$

$$\Delta V_{cg}\% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_{cgd}| \cdot L_{cg} \cdot \left| \frac{R_{pvccg}}{1000} \cdot \cos(\text{acos}(fp_{cg})) + \frac{Xl_{pvccg}}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp_{cg})) \right|}{V_2} \cdot 100$$

$$\Delta V_{cg}\% = 0,3537\%$$

Suportabilidade ao curto circuito,

$$I_{kcg} := 0.3401 \cdot 185 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.5} \cdot \log\left(\frac{160 + 234.5}{70 + 234.5}\right)} \quad I_{kcg} = 29,84 \text{ kA}$$

Perda de energia nos cabos de alimentação considerando 2500 horas de carga anual,

$$P_{\xi pvccg} := 3 \cdot R_{pvccg} \cdot \frac{L_{cg}}{1000} \cdot \int_0^{2500} I_{cgd}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvccg} = 662,11 \text{ kWh}$$

Ao se considerar somente transformadores e os alimentadores principais, as perdas anuais de energia no projeto com dimensionamento convencional ficam em,

| Descrição | Perdas em kWh |
|--|---------------|
| Alimentador de Entrada Cabos 8,7/15 kV EPR | 322,1830 |
| Transformadores secos 225 kVA 13,2-0,22 kV | 5.2203,7842 |
| Alimentadores secundários Cabos 0,6/1kV PVC | 9.642,6889 |
| Alimentadores ao Quadro Elevadores Cabos 0,6/1kV PVC | 14.688,0991 |
| Alimentadores aos Quadros Apartamentos Cabos 0,6/1kV PVC | 32.803,3060 |
| Alimentadores ao Quadro de Serviços Cabos 0,6/1kV PVC | 662,1100 |

$$\text{Total Perdas} \quad 110.322,17$$

$$P_{t\xi cv} = 110.322,17 \text{ kWh}$$

Ao considerarmos a vida útil do prédio em 50 anos, verificamos uma perda média de energia

$$\text{no período é: } P_{\xi t} := \int_0^{50} P_{t\xi cv} dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi t} = 5.516,11 \text{ MWh}$$

4.2 DIMENSIONAMENTO ALTERNATIVO

A seguir é desenvolvido o projeto de suprimento ao prédio visando diminuir as perdas de energia de modo a proporcionar eficiência energética.

Assim projetam-se subestações unitárias para as cargas ou grupos de cargas supridas por meio de cabos primários classe 8,7/15kV e transformadores secos de pequeno porte.

Cabos Primários classe 8,7/15 kV, até o barramento primário de 13,2 kV.

Considerando uma potência instalada em transformadores de 637,5kVA, sendo cinco unidades de 75 kVA cada, para suprimento aos apartamentos, uma unidade de 150 kVA para a energia dos elevadores, e outra de 112,5 kVA para os serviços do prédio ter-se-á uma corrente primária de,

$$I_1 := \frac{637.5}{\sqrt{3 \cdot V_1}} \quad I_1 = 27,883 \text{ A}$$

Carregamento do Sistema. $\lambda := \frac{D_{tp}}{637.5} \quad \lambda = 0,583$

Corrente efetiva nos cabos primários: $I_{1e} := I_1 \cdot \lambda \quad I_{1e} = 16,255 \text{ A}$

Comprimento total dos cabos $L_1 := 50$ metros Bitola do cabo $s := 25 \text{ mm}^2$

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,92793 \text{ } \Omega/\text{km}$

Corrente Admissível no cabo em trifólio dentro de eletroduto $I_{ad} := 118 \text{ A}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi epr} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_1}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{1e}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi epr} = 322,18 \text{ kWh}$$

Subestação para os Elevadores, situada na cobertura do prédio.

Potência a suprir, $S_{et} = 157,961 \text{ kVA}$

Demanda estimada $D_{el} = 102,675 \text{ kVA}$

Corrente Máxima Primária: $I_{el} := \frac{S_{et}}{\sqrt{3 \cdot V_1}} \quad I_{el} = 6,909 \text{ A}$

Corrente de carregamento normal: $I_{elc} := \frac{D_{el}}{\sqrt{3 \cdot V_1}} \quad I_{elc} = 4,491 \text{ A}$

Cabos Primários classe 8,7/15 kV, do barramento primário de 13,2 kV após disjuntor de entrada até a subestação dos elevadores na cobertura.

Comprimento total dos cabos $L_{el} := 100$ metros Bitola do cabo $s := 25 \text{ mm}^2$

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,92793 \text{ } \Omega/\text{km}$

Perda de energia nos cabos no período de um ano

$$P_{\xi eprel} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_{el}}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{elc}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi eprel} = 49,18 \text{ kWh}$$

Transformadores classe 15 kV 13,2-0,22 kV encapsulados em resina isolante

Potência nominal continua $S_{tel} := 150 \text{ kVA}$

Dimensionamento do Transformador

Demanda dos Elevadores $D_{el}=102,657$ kVA

Carregamento do transformador: $S_{tel} := 150$ kVA será,

$$b_0 := \frac{D_{el}}{S_{tel}} \quad b_0 = 0,684 \text{ p.u.}$$

Tensão Primária de $V_1=13,2$ kV

Tensão secundária de $V_2 := 220$ V

Dimensionamento das Perdas do Transformador para se ter o rendimento máximo

$$b = \sqrt{\frac{P_0}{P_c}} \text{ em p.u.}$$

onde

b : carga para rendimento máximo do transformador, já determinado $b_0 = 0,684$ p.u.

P_0 : perdas em vazio do transformador em kW

P_c : perdas em carga do transformador em kW

Daqui,

$$b^2 = \frac{P_0}{P_c} \quad \text{ou,} \quad 0,4678 = \frac{P_0}{P_c} ; \text{ e sua relação inversa, a relação de perdas é,}$$

$$rp = 2,1374 = \frac{P_c}{P_0}$$

Perda em vazio ou no ferro P_0

A corrente do transformador em vazio é $I_0\% = 2,7\%$ e o fator de potência em vazio

$$\cos(\theta_0) = 0,14$$

Assim sendo temos do lado primário de alta tensão do transformador,

$$V_1 = 13,2 \text{ kV}$$

$$I_0 := \left(\frac{2,7}{100} \cdot \frac{S_{tel}}{\sqrt{3} \cdot V_1} \right) \cdot e^{-(i \cdot \arccos(0,14))} \quad I_0 = 0,025 - 0,175i \quad \text{Ampères} \quad |I_0| = 0,177 \text{ A}$$

a potência aparente em vazio do Transformador é $S_{tel0} := \sqrt{3} \cdot [V_1 \cdot e^{(i \cdot \theta_0)}] \cdot 10^3 \cdot \overline{I_0}$

$$S_{tel0} = 567 + 4.01 \cdot 10^3 i \quad \text{VA} \quad |S_{tel0}| = 4050 \quad \text{VA}$$

a perda em vazio é,

$$P_{oel} := \text{Re}(S_{tel0}) \quad P_{oel} = 567 \quad \text{Watts}$$

$$P_{oelpu} := \frac{P_{oel}}{S_{tel} \cdot 10^3} \quad P_{oelpu} = 3,78 \times 10^{-3} \text{ p.u}$$

Assim sendo temos do lado secundário de baixa tensão do transformador,

$$I_{02} := \left(\frac{2.7}{100} \cdot \frac{S_{tel}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot e^{-(i \cdot \text{acos}(0.14))} \quad I_{02} = 1.488 - 10.524i \quad \text{Ampères}$$

$$|I_{02}| = 10,628 \quad \text{A}$$

a potência aparente em vazio do Transformador é

$$S_{tel0} := \sqrt{3} \cdot \left[V_2 \cdot 10^{-3} \cdot e^{(i \cdot (0))} \right] \cdot 10^3 \cdot \overline{I_{02}}$$

$$S_{tel0} = 567 + 4.01 \cdot 10^3 i \quad \text{VA} \quad |S_{tel0}| = 4050 \quad \text{VA}$$

a perda em vazio é, $P_{oel} := \text{Re}(S_{tel0}) \quad P_{oel} = 567 \quad \text{Watts.}$

$$P_{oelpu} := \frac{P_{oel}}{S_{tel} \cdot 10^3} \quad P_{oelpu} = 3,78 \times 10^{-3} \text{ p.u}$$

Sendo a relação de perdas $rp = 2,1312$ a perda em carga será,

$$P_{cel} := P_{oel} \cdot rp \quad P_{cel} = 1.208,039 \quad \text{Watts}$$

Tensão de curto circuito $V_{cc} := 462 \quad \text{volts}$

Tensão primária nominal $V_I = 13,2 \quad \text{kV}$

Potência nominal $Stel := 150 \quad \text{kVA}$

Potência do transformador em p.u. $Stel_{pu} := 1 \quad \text{p.u}$

Corrente nominal primária do Transformador: $II := \frac{Stel}{\sqrt{3} \cdot VI} \quad II = 6,561 \quad \text{Ampères}$

Resistência ôhmica do transformador: $R\Omega := \frac{P_{cel}}{3 \cdot II^2} \quad R\Omega = 9,358 \quad \Omega$

Resistência do transformador em p.u.: $Rpu := R\Omega \cdot \frac{Stel \cdot 10^{-3}}{VI^2}$

$$R_{pu} = 8,056 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$\text{Resistência percentual do transformador: } R\% := \frac{P_{cel}}{S_{tel} \cdot 10^3} \cdot 100 \quad R\% = 0,806 \%$$

$$\text{Impedância ôhmica do transformador: } Z\Omega := \frac{V_{cc}}{\sqrt{3} \cdot I} \quad Z\Omega = 40,656 \Omega$$

$$\text{Impedância em p.u. do transformador: } Z_{pu} := Z\Omega \cdot \frac{S_{tel} \cdot 10^{-3}}{VI^2} \quad Z_{pu} = 0,035 \text{ p.u.}$$

$$\text{Impedância percentual do transformador: } Z\% := \frac{V_{cc}}{VI \cdot 10^3} \cdot 100 \quad Z\% = 3,5 \%$$

$$\text{Reatância ôhmica do transformador: } X\Omega := \sqrt{(Z\Omega^2 - R\Omega^2)} \quad X\Omega = 39,564 \Omega$$

$$\text{Reatância em p.u do transformador: } X_{pu} := X\Omega \cdot \frac{S_{tel} \cdot 10^{-3}}{VI^2} \quad X_{pu} = 0,034 \text{ p.u.}$$

$$\text{Reatância percentual do transformador: } X\% := X_{pu} \cdot 100 \quad X\% = 3,406 \%$$

$$\text{Impedância ôhmica complexa do transformador: } Z_t := R\Omega + i \cdot X\Omega$$

$$Z_t = 9.358 + 39.564i \quad \Omega$$

$$\text{Argumento da Impedância: } \varphi_{zt} = \text{atan} \left(\frac{X\Omega}{R\Omega} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad \varphi_{zt} = 76,693 \text{ graus}$$

$$\text{Impedância em p.u. @ 100 MVA: } Z_{tpu} := Z_t \cdot \frac{100}{VI^2} \quad Z_{tpu} = 5.371 + 22.707i \text{ p.u.}$$

$$Z_{tpu} = 23,333 \text{ p.u.}$$

$$\text{Perdas em vazio ou no ferro } P_{oel} := 567 \text{ Watts}$$

$$\text{Perdas em carga ou no cobre } P_{cel} = 1.208,39 \text{ Watts}$$

Carregamento do Transformador

$$\lambda_{el} := \frac{D_{el}}{S_{tel}} \quad \lambda_{el} = 0,684$$

Perda de energia no transformador no período de um ano,

$$P_{\xi_{tel}} := \left[\int_0^{8760} P_{oel} + (\lambda_{el}^2 \cdot P_{cel}) dt \right] \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi_{tel}} = 9.924,91 \text{ kWh}$$

Subestações Unitárias para os Apartamentos.

Subestação Unitária 1 S_u situada no 3º Andar do prédio, para suprir os apartamentos e áreas comuns dos andares 1º, 2º 3º, 4º e 5º.

$$\text{Potência a suprir, } S_u := 10 \cdot D_a + \frac{S_{ac}}{5} \quad S_u = 67,892 \text{ kVA}$$

$$\text{Corrente Máxima Primária, } I_{u1} := \frac{S_u}{\sqrt{3} \cdot V_1} \quad I_{u1} = 2,97 \text{ A}$$

Com a mesma carga são projetadas as subestações de números:

Subestação Unitária 2 situada no 8º Andar, para suprir os apartamentos e áreas comuns dos andares 6º, 7º 8º, 9º e 10º.

Subestação Unitária 3 situada no 13º Andar, para suprir os apartamentos e áreas comuns dos andares 11º, 12º 13º, 14º e 15º.

Subestação Unitária 4 situada no 18º Andar, para suprir os apartamentos e áreas comuns dos andares 16º, 17º 18º, 19º e 20º.

Subestação Unitária 5 situada no 23º Andar, para suprir os apartamentos e áreas comuns dos andares 21º, 22º 23º, 24º e 25º.

O suprimento primário será feito com cabos classe 8,7/15 kV, do barramento primário de 13,2 kV após disjuntor de entrada até o barramento primário da primeira subestação unitária.

Ainda desse barramento primário dessa subestação unitária 1 o alimentador segue para o barramento primário da segunda subestação unitária, e assim continua até a subestação unitária 5 situada no 23º andar

Comprimento do primeiro trecho do alimentador até SE 1 $L_{t1} := 35$ metros

Corrente do Trecho $I_{t1} := 5 \cdot I_{u1} \quad I_{t1} = 14,848$ A Bitola do cabo $s := 25$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,92793$ Ω/km

Perda de energia no trecho 1 do alimentador no período de um ano

$$P_{\xi eprt1} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_{t1}}{1000} \cdot \int_0^{8760} I_{t1}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi eprt1} = 188,16 \text{ kWh}$$

Comprimento do segundo trecho do alimentador até SE 2 $L_{t2} := 15$ metros

Corrente do Trecho $I_{t2} := 4 \cdot I_{u1} \quad I_{t2} = 11,878$ A

Bitola do cabo $s := 25$ mm

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,92793$ Ω/km

Perda de energia no trecho 2 do alimentador no período de um ano

$$P_{\xi_{eprt2}} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_{t2}}{1000} \int_0^{8760} I_{t2}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi_{eprt2}} = 51,61 \text{ kWh}$$

Comprimento do segundo trecho do alimentador até SE 3 $L_{t3} := 15$ metros

Corrente do Trecho $I_{t3} := 3 \cdot I_{u1}$ $I_{t3} = 8,909$ A

Bitola do cabo $s := 25$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,9279$ Ω/km

Perda de energia no trecho 3 do alimentador no período de um ano

$$P_{\xi_{eprt3}} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_{t3}}{1000} \int_0^{8760} I_{t3}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi_{eprt3}} = 29,03 \text{ kWh}$$

Comprimento do segundo trecho do alimentador até SE 4 $L_{t4} := 15$ metros

Corrente do Trecho $I_{t4} := 2 \cdot I_{u1}$ $I_{t4} = 5,939$ A

Bitola do cabo $s := 25$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,9279$ Ω/km

Perda de energia no trecho 4 do alimentador no período de um ano

$$P_{\xi_{eprt4}} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_{t4}}{1000} \int_0^{8760} I_{t4}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi_{eprt4}} = 12,90 \text{ kWh}$$

Comprimento do segundo trecho do alimentador até SE 5 $L_{t5} := 15$ metros

Corrente do Trecho $I_{t5} := 1 \cdot I_{u1}$ $I_{t5} = 2,97$ A

Bitola do cabo $s := 25$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epr} = 0,9279$ Ω/km

Perda de energia no trecho 5 do alimentador no período de um ano

$$P_{\xi_{eprt5}} := 3 \cdot R_{epr} \cdot \frac{L_{t5}}{1000} \int_0^{8760} I_{t5}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi_{eprt5}} = 3,23 \text{ kWh}$$

Perda total anual do alimentador primário para as 5 subestações Unitárias,

$$P_{\xi_{eprp}} := P_{\xi_{eprt1}} + P_{\xi_{eprt2}} + P_{\xi_{eprt3}} + P_{\xi_{eprt4}} + P_{\xi_{eprt5}}$$

$$P_{\xi_{eprp}} = 284,921 \text{ kWh}$$

Os transformadores secos classe 15 kV 75 kVA 13,2-0,22 kV encapsulados em resina isolante serão utilizados nas subestações unitárias

Potência nominal contínua $S_{tu} := 75$ kVA

Dimensionamento dos Transformadores

Potência Subestações para os apartamentos $S_u = 67,982$ kVA

O carregamento do transformador será, $b_0 := \frac{S_u}{S_{tu}} \quad b_0 = 0,906$ p.u.

Tensão Primária de $V_1 = 13,2$ kV e tensão secundária de $V_2 = 220$ Volts

Para o rendimento máximo do transformador, $b = \sqrt{\frac{P_0}{P_c}}$ em p.u. $b_0 = 0,906$ p.u.

Daqui $b^2 = \frac{P_0}{P_c}$ então, $0,8216 = \frac{P_0}{P_c}$; e sua relação inversa, a relação de perdas é

$$rp = 1,2171 = \frac{P_0}{P_c}$$

Verificação da perda mais econômica dos transformadores 75 kVA para as subestações unitárias

A perda momentânea no cobre ou em carga " p_{cu} " é proporcional ao quadrado da corrente de carga momentânea " i ".

Esta corrente pode-se expressar em função das perdas no cobre conhecidas a plena carga e da corrente conhecida de plena carga como,

$$p_{cu} = P_c \cdot \left(\frac{i}{I_n} \right)^2$$

onde:

p_{cu} : perda momentânea no cobre.

P_c : perdas conhecidas no cobre a plena carga.

I_n : corrente nominal do Transformador a plena carga

i : corrente de carga momentânea

A perda total anual de energia no cobre é,

$$\xi_{cu} = \int_0^{8760} p_{cu} dt \quad \xi_{cu} = \frac{P_c}{I_n^2} \cdot \int_0^{8760} i^2 dt$$

Sendo I_a o valor eficaz da corrente de carga anual cujo valor é,

$$I_a = \sqrt{\frac{1}{8760} \int_0^{8760} i^2 dt} \quad \text{e} \quad \int_0^{8760} i^2 dt = 8760 \cdot I_a^2$$

temos que as perdas anuais de energia em carga ou no cobre, no Transformador ficam,

$$\xi_{acu} = 8760 \cdot \left(\frac{I_a}{I_n} \right)^2 \cdot P_c \text{ em kWh}$$

onde:

I_a : corrente eficaz da carga ligada em um ano

I_n : corrente nominal de plena carga

P_c : perdas no cobre em kW a corrente nominal de plena carga

8760 : número de horas no ano.

As perdas anuais no ferro ficam,

$$\xi_{afe} = 8760 \cdot P_0, \text{ em kWh}$$

Sendo P_0 as perdas em vazio em kW do Transformador.

As perdas totais durante o ano ficam,

$$\xi_a = \xi_{acu} + \xi_{afe} = 8760 \cdot \left[\left(\frac{I_a}{I_n} \right)^2 \cdot P_c + P_0 \right]$$

Nesta equação chamaremos de λ a razão $\frac{I_a}{I_n}$, assim a equação fica:

$$\xi_a = 8760 \cdot \left(\lambda^2 \cdot P_c + P_0 \right)$$

Por analogia, e supondo a tensão constante, λ é razão entre a demanda de carga máxima em kVA do Transformador e a potência aparente nominal do Transformador, de modo que:

$$\lambda = \frac{\text{Demanda máxima em kVA}}{\text{Potência do Transformador em kVA}}$$

Assim podemos escrever,

$$\xi_a = \int_0^t \left(\lambda^2 \cdot P_c + P_0 \right) dt$$

que representa as perdas totais de energia no transformador num determinado período de tempo " t ".

O produto das perdas em " kW^2 " de um transformador para um determinado período o designaremos pela constante " L ", de tal modo que:

$$L = P_0 \cdot P_c, \text{ onde se deduz que } P_c = \frac{L}{P_0}$$

desta forma a equação das perdas totais fica,

$$\xi_a = \int_0^t \left(\lambda^2 \cdot \frac{L}{P_0} + P_0 \right) dt$$

Considerando que " κ " é o custo da energia, a equação das perdas totais havidas no transformador num período " t ", a expressão do custo dessas perdas pode ser escrito como,

$$Q = \int_0^t \left[\kappa \left(\lambda^2 \cdot \frac{L}{P_0} + P_0 \right) \right] dt$$

O custo da energia é $K = 0,51480$ R\$/kWh

E o custo do "kWano" será $\kappa a := K \cdot 8760$ $\kappa a = R\$ 4.509,65$

e ao considerar uma taxa de juros de "i" em p.u. ao ano, integrarmos no período de tempo, teremos o custo das perdas no Transformador a valor presente e a equação fica,

$$Q = \int_0^t \frac{\left[\kappa a \cdot \left(\lambda^2 \cdot \frac{L}{P_0} + P_0 \right) \right]}{(1+i)^t} dt \quad \text{ou,}$$

$$Q = \int_0^t \left[\left(P_0 \cdot \kappa a + \lambda^2 \cdot \frac{L}{P_0} \cdot \kappa a \right) \cdot (1+i)^{-t} \right] dt$$

Sendo,

Potência nominal contínua $S_{tu} := 75$ kVA

Potência Subestações para os apartamentos $S_u = 67,982$ kVA

$$\lambda := \frac{S_u}{S_{tu}} \quad \lambda = 0,9064267 \text{ p.u.} \quad \lambda^2 = 0,822 \text{ e p.u.}$$

E ao se considerar uma taxa de juros reais de 10% ao ano, ou $i := 0.10$ p.u e estimando a depreciação total do Transformador em 50 anos, temos,

$$Q = \int_0^{50} \left[\left(P_0 \cdot \kappa a \right) \cdot (1+i)^{-t} \right] dt + \int_0^{50} \left[\left(\frac{L}{P_0} \cdot \kappa a \cdot \lambda^2 \right) \cdot (1+i)^{-t} \right] dt$$

$$Q = 46909.48 \cdot P_0 + 38541.27 \cdot \frac{L}{P_0}$$

O custo mínimo das perdas dar-se-à quando, $\frac{dQ}{dP_0} = 0$ ou seja,

$$\frac{dQ}{dP_0} = 46909.48 - \frac{38541.27 \cdot L}{P_0^2} = 0$$

$$\frac{46909.48}{38541.27} = \frac{L}{P_0^2} \quad \text{ou} \quad 1.2171 = \frac{P_0 \cdot P_c}{P_0^2}$$

Daqui verifica-se que a relação de perdas mais econômica para o Transformador é,

$$rp = 1,2171 = \frac{P_0}{P_c}$$

Este valor é idêntico ao valor de " r_p " calculado no cômputo do dimensionamento das perdas do Transformador.

Critério para o julgamento das propostas para compra dos transformadores de 75 kVA

Ao preço ofertado " V_c " para compra de um Transformador será acrescido o custo das perdas de energia no Transformador ao longo da sua vida útil, trazido a valor presente.

Assim sendo temos que o Valor total do transformador será.

$$V_t = V_c + Q$$

onde,

V_t : Valor total do Transformador

V_c : Preço do Transformador ofertado pelo fabricante

Q : Custo das perdas do Transformador durante sua vida útil referidas a valor presente.

Sendo

P_t : perdas totais

P_0 : perdas em vazio ou no ferro.

P_c : perdas em carga ou no cobre.

temos,

$$P_t = P_0 + P_c ; P_c = P_t - P_0$$

Como na expressão do custo das perdas Q ; $P_c = \frac{L}{P_0}$ temos,

$$Q = 4509.65 \cdot P_0 + 3705.17 \cdot (P_t - P_0)$$

Então para efeito de julgamento das propostas dos transformadores o custo das perdas a ser acrescido ao preço de cada unidade será calculado pela equação :

$$Q = 804.48 \cdot P_0 + 3705.17 \cdot P_t \text{ em Reais}$$

Onde,

Q : acréscimo do custo devido as perdas em Reais

P_0 : perdas em vazio em kW

P_t : perdas totais em kW a potência nominal com ventilação natural ONAN, e $\cos(\varphi) = 1$.

Caso os valores de P_0 e/ou P_t definidos acima, obtidos nos ensaios do Transformador forem superiores aos valores garantidos, aplicar-se-á uma multa de 3 vezes os valores aplicados para julgamento.

Assim sendo o valor da multa a ser aplicada por unidade será:

$$Q_1 = 2413.44 \cdot (P_{01} - P_0)$$

$$Q_2 = 11115.51 \cdot (P_{t1} - P_t)$$

onde :

P_{01} e P_{t1} são os valores obtidos nos ensaios

Q_1 e Q_2 valor da multa em reais.

Perda em vazio ou no ferro P_{0u}

A corrente do transformador em vazio é $I_{0\%} = 3,2\%$ e o fator de potência em vazio

$$\cos(\theta_0) := 0.15$$

Assim sendo temos do lado primário de alta tensão do transformador,

$$I_{01} := \left(\frac{3.2}{100} \cdot \frac{S_{tu}}{\sqrt{3} \cdot V_1} \right) \cdot e^{-(i \cdot \cos(0.15))}$$

$$I_{01} = 0.016 - 0.104i \quad \text{Ampères} \quad |I_{01}| = 0.105 \text{ A}$$

a potência aparente em vazio do Transformador é

$$S_{tou} := \sqrt{3} \cdot [V_1 \cdot e^{(i \cdot 0)}] \cdot 10^3 \cdot \overline{(I_{01})}$$

$$S_{tou} = 360 + 2.373 \cdot 10^3 i \quad \text{VA} \quad |S_{tou}| = 2400 \quad \text{VA}$$

a perda em vazio é, $P_{ou} := \text{Re}(S_{tou}) \quad P_{ou} = 360 \quad \text{Watts}$

$$P_{oupu} := \frac{P_{ou}}{S_{tu} \cdot 10^3} \quad P_{oupu} = 4.8 \cdot 10^{-3} \quad \text{p.u}$$

Assim sendo temos do lado secundário de baixa tensão do transformador,

$$I_{02} := \left(\frac{3.2}{100} \cdot \frac{S_{tu}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot e^{-(i \cdot \cos(0.15))}$$

$$I_{02} = 0.945 - 6.227i \quad \text{Ampères} \quad |I_{02}| = 6.298 \text{ A}$$

a potência aparente em vazio do Transformador é

$$S_{tou} := \sqrt{3} \cdot [V_2 \cdot e^{(i \cdot 0)}] \cdot I_{02}$$

$$S_{tou} = 360 + 2.373 \cdot 10^3 i \quad \text{VA} \quad |S_{tou}| = 2400 \quad \text{VA}$$

a perda em vazio é,

$$P_{ou} := \text{Re}(S_{tou}) \quad P_{ou} = 360 \quad \text{Watts}$$

$$P_{oupu} := \frac{P_{ou}}{S_{tu} \cdot 10^3} \quad P_{oupu} = 4.8 \cdot 10^{-3} \quad \text{p.u}$$

Sendo a relação de perdas $rp=1,2171$ a perda em carga será,

$$P_{cu} := P_{ou} \cdot rp \quad P_{cu} = 438.16 \quad \text{Watts}$$

Tensão de curto circuito $V_{cc} := 462 \text{ volts}$

Tensão primária nominal $V_1=13,2 \text{ kV}$

Potência nominal $S_t := 75 \text{ kVA}$

Potência do transformador em p.u. $S_{tupu} := 1 \text{ p.u}$

Corrente nominal primária do Transformador: $I I := \frac{S_{tu}}{\sqrt{3} \cdot V I} \quad I I=3,28 \text{ Ampéres}$

Resistência ôhmica do transformador: $R \Omega := \frac{P_{cu}}{3 \cdot I I^2} \quad R \Omega=13,572 \Omega$

Resistência do transformador em p.u. $R_{pu} := R \Omega \cdot \frac{S_{tu} \cdot 10^{-3}}{V I^2}$

$$R_{pu}=0,005842 \text{ p.u.}$$

Resistência percentual do transformador: $R \% := \frac{P_{cu}}{S_{tu} \cdot 10^3} \cdot 100 \quad R \%=0,584 \%$

Impedância ôhmica do transformador: $Z \Omega := \frac{V_{cc}}{\sqrt{3} \cdot I I} \quad Z \Omega=81,312 \Omega$

Impedância em p.u. do transformador: $Z_{pu} := Z \Omega \cdot \frac{S_{tu} \cdot 10^{-3}}{V I^2} \quad Z_{pu}=0,035 \text{ p.u.}$

Impedância percentual do transformador: $Z \% := \frac{V_{cc}}{V I \cdot 10^3} \cdot 100 \quad Z \%=3,5 \%$

Reatância ôhmica do transformador: $X \Omega := \sqrt{(Z \Omega^2 - R \Omega^2)} \quad X \Omega=80,171 \Omega$

Reatância em p.u do transformador: $X_{pu} := X \Omega \cdot \frac{S_{tu} \cdot 10^{-3}}{V I^2} \quad X_{pu}=0,03451 \text{ pu}$

Reatância percentual do transformador: $X \% := X_{pu} \cdot 100 \quad X \%=3,451 \%$

Impedância ôhmica complexa do transformador: $Z_t := R \Omega + i \cdot X \Omega$
 $Z_t = 13.572 + 80.171i \quad \Omega$

Argumento da Impedância $\varphi_{z_t} = \text{atan} \left(\frac{X \Omega}{R \Omega} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad \varphi_{z_t}=80,391 \text{ graus}$

Impedância em p.u. @ 100 MVA $Z_{tpu} := Z_t \cdot \frac{100}{V I^2} \quad Z_{tpu} = 7.789 + 46.012i \text{ p.u.}$

$$|Z_{tpu}|=46,667 \text{ p.u.}$$

Perdas em vazio ou no ferro $P_{ou} := 360 \text{ Watts}$

Perdas em carga ou no cobre $P_{cu} = 438,16 \text{ Watts}$

Carregamento do Transformador $\lambda u := \frac{S_u}{S_{tu}} \quad \lambda u = 0.906$

Perda de energia nos 5 transformadores nas subestações unitárias no período de um ano,

$$P_{\xi tu} := \left[\int_0^{8760} P_{ou} + (\lambda u^2 \cdot P_{cu}) dt \right] \cdot 5 \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi tu} = 31.535,84 \text{ kWh}$$

Corrente Máxima secundária: $I_{u2} := \frac{S_{tu}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_{u2} = 196,82 \text{ A}$

Corrente secundária efetiva: $I_{u2e} := \frac{S_u}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_{u2e} = 178,41 \text{ A}$

O condutor secundário será um barramento de cobre construído em barras chatas de 1 polegada com seção retangular de 161 mm² e comprimento de 1,5 metros.

Resistência de cada barra $R_b = 0,00016063 \text{ } \Omega$

Perda de energia nos barramentos secundários das subestações unitárias no período de um ano

$$P_{\xi b} := \left(3 \cdot R_b \cdot \int_0^{8760} I_{u2e}^2 dt \cdot 10^{-3} \right) \cdot 5 \quad P_{\xi b} = 671,81 \text{ kWh}$$

Alimentador para cada apartamento e área de circulação

Corrente do alimentador, considerando fator de potência $fp_a = 0,92$

$$I_a := \frac{1.25 \cdot D_a \cdot fp_a}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_a = 18,679 \text{ A}$$

Comprimento dos cabos para os apartamentos do 1º e 5º Andar $L_{1d} := 20$ metros

Bitola do cabo $s := 10$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C $R_{pvc1d} = 2,30470 \text{ } \Omega/\text{km}$

Reatância Indutiva do Cabo com isolamento de PVC $Xl_{pvc1d} = 0,12640 \text{ } \Omega/\text{km}$

Queda de tensão no alimentador,

$$\Delta V_{1d}\% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_a| \cdot L_{1d} \left| \frac{R_{pvc1d}}{1000} \cdot \cos(\text{acos}(fp_a)) + \frac{Xl_{pvc1d}}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp_a)) \right| \cdot 100}{V_2}$$

$$\Delta V_{1d}\% = 0,1162$$

Suportabilidade ao curto circuito,

$$I_{k1d} := 0.3401 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{I}{0.5} \cdot \log\left(\frac{160 + 234.5}{70 + 234.5}\right)} \quad I_{k25} = 4,032 \text{ kA}$$

Perda de energia nos cabos de alimentação aos apartamentos do 1º e 5º Andares no período de um ano

$$P_{\xi pvc1d} := 6 \cdot R_{pvc1d} \frac{L_{1d}}{1000} \int_0^{8760} I_a^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvc1d} = 845,27 \text{ kWh}$$

Com cálculos similares foi construída a tabela 4.-2.1 a seguir onde se mostra o dimensionamento dos alimentadores aos 25 andares de apartamentos do prédio contendo comprimento, bitola, queda de tensão porcentual e perda anual de energia.

| Andar | Comprimento | Bitola Cabo | Queda de Tensão | Perda de Energia Anual |
|---|-------------|--------------------|-----------------|------------------------|
| Nº | m | mm ² | % | kWh |
| 1º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 2º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 3º SE | 10 | 10 mm ² | 0,3191% | 422,637 |
| 4º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 5º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 6º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 7º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 8º SE | 10 | 10 mm ² | 0,3191% | 422,637 |
| 9º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 10º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 11º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 12º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 13º SE | 10 | 10 mm ² | 0,3191% | 422,637 |
| 14º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 15º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 16º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 17º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 18º SE | 10 | 10 mm ² | 0,3191% | 422,637 |
| 19º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 20º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 21º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| 22º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 23º SE | 10 | 10 mm ² | 0,3191% | 422,637 |
| 24º | 15 | 10 mm ² | 0,4786% | 633,956 |
| 25º | 20 | 10 mm ² | 0,6382% | 845,274 |
| Total perda de energia anual nos alimentadores | | | | 16905,485 |

Tabela 4.-2.1 Dimensionamento alternativo dos alimentadores aos andares do prédio

Alimentadores ao quadro Geral de serviços

Este quadro suprirá as áreas de Playground, Salão de festas, Quadra Poli esportiva, Sauna e piscina garagem e Área externa,

$$S_{cg} := S_{ap} + S_{af} + S_{pe} + S_{sp} + S_g + S_{ae} \quad S_{cg} = 126 \text{ kVA}$$

A demanda deste quadro é aproximadamente,

$$D_{cg} := D_{pg} + D_{sf} + D_{pe} + D_{sp} + D_g + D_{ae} \quad D_{cg}=72,9 \text{ kVA}$$

Alimentador primário até o transformador da Subestação de Serviços,

$$\text{Corrente Primária } I_{pcg} := \frac{S_{cg}}{\sqrt{3} \cdot V_1} \quad I_{pcg}=5,511 \text{ A}$$

Comprimento do cabo $L_{pcg} := 10$ metros Bitola do cabo $s := 25$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de EPR a 90°C $R_{epc} = 0,92793$ Ω/km

Perda de energia no alimentador considerando 2500 horas de carga anual,

$$P_{\xi eprcg} := 3 \cdot R_{epc} \cdot \frac{L_{pcg}}{1000} \int_0^{2500} I_{pcg}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi eprcg}=2,11 \text{ kWh}$$

Projetamos transformador seco classe 15 kV 112,5 kVA 13,2-0,22 kV encapsulado em resina isolante.

Potência nominal contínua $S_{tcg} := 112,5$ kVA

Demanda dos Serviços $D_{cg}=72,9$ kVA

Carregamento do transformador

$$b_0 := \frac{D_{cg}}{S_{tcg}} \quad b_0=0,648 \text{ p.u.}$$

Tensão Primária de $V_1=13,2$ kV

Tensão secundária de $V_2 := 220$ V

Para rendimento máximo do transformador, $b = \sqrt{\frac{P_0}{P_c}}$ em p.u. $b_0=0,648$ p.u., então

$$b^2 = \frac{P_0}{P_c} \text{ daqui, } 0,4199 = \frac{P_0}{P_c} \text{ e sua relação inversa, a relação de perdas é } rp=2,3815 = \frac{P_0}{P_c}$$

A corrente do transformador em vazio é $I_{0\%} := 3\%$ e o fator de potência em vazio

$$\cos(\theta_0)=0,14$$

Assim sendo temos do lado primário de alta tensão do transformador,

$$I_0 := \left(\frac{3}{100} \cdot \frac{S_{tcg}}{\sqrt{3} \cdot V_1} \right) \cdot e^{-(i \cdot \cos(0,14))}$$

$$I_0 = 0.021 - 0.146i \quad \text{Ampéres} \quad |I_0| = 0,148 \text{ A}$$

a potência aparente em vazio do Transformador é

$$S_{tcgo} := \sqrt{3} \cdot [V_1 \cdot e^{(i \cdot 0)}] \cdot 10^3 \cdot \overline{I_0} \quad S_{tcgo} = 472.5 + 3.342 \cdot 10^3 i \quad \text{VA}$$

$$|S_{tcgo}| = 3375 \quad \text{VA}$$

a perda em vazio é,

$$P_{ocg} := \text{Re}(S_{tcgo}) \quad P_{ocg} = 472,5 \text{ Watts}$$

$$P_{ocgpu} := \frac{P_{ocg}}{S_{tcg} \cdot 10^3} \quad P_{ocgpu} = 4.2 \cdot 10^{-3} \text{ p.u.}$$

Assim sendo temos do lado secundário de baixa tensão do transformador,

$$I_{02} := \left(\frac{3}{100} \cdot \frac{S_{tcg}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot e^{-(i \cdot \text{acos}(0.14))}$$

$$I_{02} = 1.24 - 8.77i \quad \text{Ampéres} \quad |I_{02}| = 8,857 \text{ A}$$

a potência aparente em vazio do Transformador é

$$S_{tcgo} := \sqrt{3} \cdot [V_2 \cdot e^{(i \cdot (0))}] \cdot \overline{I_{02}} \quad S_{tcgo} = 472.5 + 3.342 \cdot 10^3 i \quad \text{VA}$$

$$|S_{tcgo}| = 3375 \quad \text{VA}$$

a perda em vazio é,

$$P_{ocg} := \text{Re}(S_{tcgo}) \quad P_{ocg} = 472,5 \text{ Watts}$$

$$P_{ocgpu} := \frac{P_{ocg}}{S_{tcg} \cdot 10^3} \quad P_{ocgpu} = 4.2 \cdot 10^{-3} \text{ p.u.}$$

Sendo a relação de perdas $rp=2,3815$ a perda em carga será,

$$P_{ccg} := P_{ocg} \cdot rp \quad P_{ccg} = 1.125,26 \text{ Watts}$$

Tensão de curto circuito $V_{cc} := 462$ volts

Tensão primária nominal $V_1 = 13,2$ kV

Potência nominal $S_{tcg} := 112.5$ kVA

Potência do transformador em p.u. $S_{tcg,pu} := 1$ p.u

Corrente nominal primária do Transformador: $I_1 := \frac{S_{tcg}}{\sqrt{3} \cdot V_1} \quad I_1 = 4,921 \text{ Ampéres}$

$$\text{Resistência ôhmica do transformador: } R\Omega := \frac{P_{cgg}}{3 \cdot I^2} \quad R\Omega = 15,492 \Omega$$

$$\text{Resistência do transformador em p.u.: } R_{pu} := R\Omega \cdot \frac{S_{tcg} \cdot 10^{-3}}{VI^2} \quad R_{pu} = 0,01 \text{ p.u.}$$

$$\text{Resistência percentual do transformador: } R\% := \frac{P_{cgg}}{S_{tcg} \cdot 10^3} \cdot 100 \quad R\% = 1 \%$$

$$\text{Impedância ôhmica do transformador: } Z\Omega := \frac{V_{cc}}{\sqrt{3} \cdot I} \quad Z\Omega = 54,208 \Omega$$

$$\text{Impedância em p.u. do transformador: } Z_{pu} := Z\Omega \cdot \frac{S_{tcg} \cdot 10^{-3}}{VI^2} \quad Z_{pu} = 0,035 \text{ p.u.}$$

$$\text{Impedância percentual do transformador: } Z\% := \frac{V_{cc}}{VI \cdot 10^3} \cdot 100 \quad Z\% = 3,5 \%$$

$$\text{Reatância ôhmica do transformador: } X\Omega := \sqrt{(Z\Omega^2 - R\Omega^2)} \quad X\Omega = 51,947 \Omega$$

$$\text{Reatância em p.u do transformador: } X_{pu} := X\Omega \cdot \frac{S_{tcg} \cdot 10^{-3}}{VI^2} \quad X_{pu} = 0,03354 \text{ p.u.}$$

$$\text{Reatância percentual do transformador: } X\% := X_{pu} \cdot 100 \quad X\% = 3,354 \%$$

$$\text{Impedância ôhmica complexa do transformador: } Z_t := R\Omega + i \cdot X\Omega \\ Z_t = 15,492 + 51,947i \quad \Omega$$

$$\text{Argumento da Impedância: } \varphi_{zt} = \text{atan} \left(\frac{X\Omega}{R\Omega} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad \varphi_{zt} = 73,395 \text{ graus}$$

$$\text{Impedância em p.u. @ 100 MVA: } Z_{tpu} := Z_t \cdot \frac{100}{VI^2}$$

$$Z_{tpu} = 8,891 + 29,814i \text{ p.u.} \quad |Z_{tpu}| = 31,111 \text{ p.u.}$$

$$\text{Perdas em vazio ou no ferro } P_{ocg} = 472,5 \text{ Watts}$$

$$\text{Perdas em carga ou no cobre } P_{ccg} = 1.125,26 \text{ Watts}$$

$$\text{Carregamento do Transformador } \lambda_{cg} := \frac{D_{cg}}{S_{tcg}} \quad \lambda_{cg} = 0,648$$

Perda de energia no transformador considerando 2500 horas de carga anual,

$$P_{\xi tcg} := \left[\int_0^{2500} P_{ocg} + (\lambda_{cg}^2 \cdot P_{ccg}) dt \right] \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi tcg} = 2.362,50 \text{ kWh}$$

Corrente máxima no alimentador de baixa tensão: $I_{cg} := \frac{S_{cg}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_{cg} = 330,664 \text{ A}$

Corrente de demanda máxima nos alimentadores considerando fator de potência $fp_{cg} = 0,92$

$$I_{cgd} := \frac{D_{cg} \cdot fp_{cg}}{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot 10^{-3}} \quad I_{cgd} = 176,008 \text{ A}$$

Comprimento total dos cabos $L_{cg} := 20$ metros Bitola do cabo $s := 185$ mm²

Resistência do Cabo com isolamento de PVC a 70°C $R_{pvccg} = 0,12060$ Ω/km

Reatância Indutiva do Cabo com isolamento de PVC $Xl_{pvccg} = 0,09811$ Ω/km

Queda de tensão no alimentador,

$$\Delta V_{cg}\% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_{cgd}| \cdot L_{cg} \cdot \left| \frac{R_{pvccg}}{1000} \cdot \cos(\text{acos}(fp_{cg})) + \frac{Xl_{pvccg}}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp_{cg})) \right| \cdot 100}{V_2}$$

$$\Delta V_{cg}\% = 0,1534 \%$$

Suportabilidade ao curto circuito,

$$I_{kcg} := 0.3401 \cdot 185 \cdot \sqrt{\frac{I}{0.5} \cdot \log\left(\frac{160 + 234.5}{70 + 234.5}\right)} \quad I_{kcg} = 29,84 \text{ kA}$$

Perda de energia nos cabos de alimentação considerando 2500 horas de carga anual,

$$P_{\xi pvccg} := 3 \cdot R_{pvccg} \cdot \frac{L_{cg}}{1000} \cdot \int_0^{2500} I_{cgd}^2 dt \cdot 10^{-3} \quad P_{\xi pvccg} = 560,41 \text{ kWh}$$

O dimensionamento dos centros de carga fica:

| Subestação | Elevadores | Unitárias Andares | Serviços |
|-----------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Transformador | 150 kVA | 75 kVA | 112,5 kVA |
| Demanda | 102,675 kVA | 67,892 kVA | 72,9 kVA |
| Carregamento | 0,684 p.u. | 0,906 p.u. | 0,648 p.u. |
| Relação Perdas | 2.1374 | 1.2171 | 2.3815 |
| Peradas em vazio | 567 Watts | 360 Watts | 472,5 Watts |
| Peradas em carga | 1208,39 Watts | 438,16 Watts | 1125,26 Watts |
| Impedância | 3.5% | 3.5% | 3.5% |
| Corrente de excitação | 2.7% | 3.2% | 3% |

As perdas anuais totais neste novo dimensionamento ficam,

| Descrição | Perdas em kWh |
|---|----------------------|
| Alimentador de Entrada Cabos 8,7/15 kV EPR | 322,183 |
| Alimentador S E Elevadores Cabos 8,7/15 kV EPR | 49,180 |
| Transformador S E Elevadores | 9.924,910 |
| Alimentador S E Unitárias dos andares Cabos 8,7/15 kV EPR | 284,920 |
| 5 Transformadores S E's Unitárias dos andares | 31.535,840 |
| Barramento Secundário S E's Unitárias dos andares | 671,810 |
| Alimentadores Secundários apartamentos e circulação andares | 16.905,500 |
| Alimentador S E Serviços Cabos 8,7/15 kV EPR | 2,110 |
| Transformador S E Serviços | 2.362,500 |
| Alimentador Secundário Quadro de serviços | 560,410 |
| Total perdas de energia | 6.2619,36 |

COMPARATIVO

| Dimensionamento | Perdas Anuais kWh |
|--------------------------|--------------------------|
| Convencional | 110.322,17 |
| Alternativo | 62.619,36 |
| Redução de Perdas | 47.702,81 |
| % de Redução | 43,24 |

RESUMO

A proposta de projeto alternativo para a instalação elétrica do prédio, com um alimentador de distribuição interna em tensão primária suprindo subestações unitárias para centros de carga dispostos ao longo da altura do edifício, com o dimensionamento dos transformadores desses centros de carga com a relação de perdas ajustada a seu carregamento, e desses centros de carga distribuir em baixa tensão para os consumos, mostra que apresenta uma redução de perdas nos cabos e transformadores de no entorno de 40% em relação a um projeto convencional com um único centro de carga e distribuição de energia em baixa tensão para os mesmos consumos.

5. PROPOSTA PARA O PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

No desenvolvimento do projeto elétrico industrial cumprem-se normalmente as etapas conhecidas como ENGENHARIA BÁSICA e ENGENHARIA DE DETALHAMENTO

Na etapa de ENGENHARIA BÁSICA são definidos e elaborados os documentos diretrizes de projeto, sendo, portanto, esta etapa o estágio conceitual do plano geral para construção da obra de engenharia elétrica.

Nesta documentação merecem destaque pela sua importância energética:

- a. Mapa com levantamento de cargas que consumirão energia elétrica com seus respectivos horários de funcionamento
- b. Memória de cálculo para definições da demanda de potência, fator de carga e consumo de energia elétrica. Neste documento constará ainda uma justificativa técnica da escolha preliminar das tensões escolhidas.
- c. Documento a ser encaminhado a concessionária de energia elétrica, solicitando o fornecimento de energia para a demanda de potência calculada, com definição da tensão de entrada, possível ponto de entrega e medição contendo solicitação das impedâncias nesse ponto para o cálculo dos níveis de curto circuito.

Com a resposta da concessionária definida a tensão de fornecimento e ponto de entrega da energia são elaborados:

- d Desenho com o diagrama unifilar geral.
- e Memorial de cálculo elétrico contendo:
 - e 1 Cálculo de dimensionamento.
 - e 2 Cálculos de curto circuito
 - e 3 Cálculo de Aterramento.
 - e 4 Cálculos de sobretensões.
 - e 5 Cálculos preliminares de dimensionamento das proteções.
- f Desenhos básicos de princípios de controle e proteção.
- g Elaboração das especificações dos equipamentos.
- h Elaboração das especificações dos materiais principais.
- i Preparo dos pacotes para licitação de compra de equipamentos.

Todo este trabalho de ENGENHARIA BÁSICA é desenvolvido dentro do ambiente regulatório de que trata o capítulo dois anterior, e na maioria das vezes principalmente em projetos de grande porte, na falta de normalização nacional, recorre-se ao auxílio de normas técnicas de organizações estrangeiras ou de organizações internacionais.

5.1 DIMENSIONAMENTO

Com a finalidade de elaborar projetos de sistemas elétricos industriais com eficiência energética, é proposto cuidar diretamente no dimensionamento destes projetos das tensões adotadas para os acionamentos, da queda de tensão nos alimentadores e no fator de potência dos consumos, e ainda dimensionar os transformadores para que trabalhem com o rendimento máximo de acordo ao seu carregamento, adotando para cada um destes itens, valores mais austeros que os recomendados nas normas técnicas e na legislação e padrões o retro citado ambiente regulatório atual, até quando seja disponibilizado normalização, padronização e legislação de regulação que insira de forma clara, precisa e indubitável os cuidados com a eficiência energética nos sistemas elétricos.

Isto porque com esses cuidados pode-se diminuir a corrente que circulará pelos elementos do sistema e se aliviará a carga fornecida pelas fontes do sistema com os conseqüentes benefícios energético e ambiental.

Sendo a perda de potência em um condutor proporcional ao quadrado da corrente é

$$pP = R \cdot I^2$$

como a resistência do condutor é

$$R = \frac{l \cdot \rho}{s}$$

Onde:

l Comprimento do condutor

ρ Resistividade do material condutor

s Bitola do condutor

a perda de potência no condutor fica

$$pP = \frac{l \cdot \rho \cdot I^2}{s}$$

Como a corrente que circula pelo condutor varia em razão direta ao fator de potência, o aumento da bitola no condutor é inversamente proporcional ao quadrado do fator de potência.

Quanto menor o fator de potência maior a bitola do condutor

$$\Delta s = \left(\frac{I}{fp} \right)^2$$

Fator de Potência Bitola relativa do condutor mm²

| | |
|------------|---------------|
| 1 | 1,000 |
| 0,9 | 1,235 |
| 0,8 | 1,563 |
| 0,7 | 2,041 |
| 0,6 | 2,778 |
| 0,5 | 4,000 |
| 0,4 | 6,250 |
| 0,3 | 11,111 |
| 0,2 | 25,000 |

Tabela 5.1 Variação relativa da bitola de condutor com o fator de Potência

Em geral nos condutores as perdas são proporcionais ao quadrado da corrente.

Ao se melhorar o fator de potência há uma diminuição da corrente nos condutores em relação direta ao aumento do fator de potência. Conseqüentemente as perdas são reduzidas em razão inversamente proporcional ao quadrado da razão entre o fatores de potência existente e o novo.

A redução percentual de perdas devida a melhora no fator de potência fica então,

$$\Delta p = \left[1 - \left(\frac{fpe}{fpn} \right)^2 \right] \cdot 100$$

Onde:

fpe Fator de potência existente

fpn Fator de potência novo

| cosφ Existente | cosφ Novo | cosφ Existente/ cosφ Novo | Redução de perdas em % |
|-----------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0,50 | 0,92 | 0,543 | 70,463 |
| 0,55 | 0,92 | 0,598 | 64,260 |
| 0,60 | 0,92 | 0,652 | 57,467 |
| 0,65 | 0,92 | 0,707 | 50,083 |
| 0,70 | 0,92 | 0,761 | 42,108 |
| 0,75 | 0,92 | 0,815 | 33,542 |
| 0,80 | 0,92 | 0,870 | 24,386 |
| 0,85 | 0,92 | 0,924 | 14,638 |
| 0,90 | 0,92 | 0,978 | 4,301 |

Tabela 5.2 Redução de perdas nos condutores com a melhora do fator de Potência

Ainda é necessário o estudo do comportamento energético das fontes e dos acionamentos elétricos visando à eliminação do desperdício de energia quando do sobre dimensionamento de transformadores e motores elétricos.¹¹

11. ANDREAS John C. Energy – Efficient Electric Motors – Second Edition Marcel Dekker, Inc

Nos aspectos de segurança e confiabilidade o projeto assim dimensionado permite diminuir ainda os níveis de curto circuito possibilitando projetar equipamentos de proteção manobra e controle de valores nominais de corrente menor de tal modo que facilitam a coordenação e seletividade das proteções do sistema.

Ainda a adoção de equipamentos com valores nominais de corrente menor com tensão adequada e reduzida queda de tensão nos alimentadores, permite dimensionar materiais mais leves na elaboração da ENGENHARIA DE DETALHAMENTO, dos projetos executivos, concebidos com estudo de eficiência energética.

RESUMO

Para os projetos de instalações elétricas industriais são propostas providências em geral similares as sugeridas nos capítulos 3 e 4 anteriores, quanto a limitação de queda de tensão nos alimentadores dimensionamento econômico de transformadores ajustando as perdas ao seu carregamento e ainda a verificação energética das fontes de suprimento e acionamentos elétricos.

6. ESTUDOS DE CASOS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS.

São apresentados a seguir dois estudos de casos de instalações elétricas industriais simples de dimensionamento e verificação de equipamentos.

6.1 ESCOLHA DE MOTOR PARA ACIONAMENTO DE BOMBA

Dimensionamento de motor elétrico de indução para acionamento de bomba centrífuga.

Potência máxima requerida pela Bomba, já incluindo as folgas de norma

$$P_B := 778 \text{ CV}$$

Com a equivalência de,

$$HP=0,745699871582 \text{ kW}$$

$$CV=0,735499 \text{ kW}$$

A.- Motor com tensão de 440 Volts

Potência do Motor da Bomba $P_{ma} := 800 \text{ CV}$

Fator de potência $fp_a=0,88$

Rendimento $\eta_a=0,966$

Capacitor $Qc_a := 150 \text{ kVAR}$

Tensão $V_a := 440 \text{ Volts}$

Motor Categoria $G_a=5,62 \text{ kVA/CV}$

Horas de funcionamento em um ano $Ha := 7968$ horas, horário no segmento fora de ponta.

Potência aparente do conjunto Motor - Capacitor:

$$S_a := \frac{P_{ma} \cdot CV}{fp_a \cdot \eta_a} \cdot e^{(j \cdot \arccos(fp_a))} + Qc_a \cdot e^{(-j \cdot \frac{\pi}{2})}$$

$$S_a = 609.109 + 178.762j \text{ kVA} \quad |S_a| = 634.799 \text{ kVA}$$

$$P_a := \text{Re}(S_a) \quad P_a=609,109 \text{ kW}$$

$$Q_a := \text{Im}(S_a) \quad Q_a=178,762 \text{ kVAR}$$

$$\varphi_a = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(S_a) \quad \varphi_a=16,356 \text{ graus}$$

$$\text{Fator de Potência corrigido, } fp_{ca} := \frac{P_a}{|S_a|} \quad fp_{ca}=0,96$$

Corrente do motor a plena carga,

$$I_{ma} := \frac{P_{ma} \cdot CV \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V_a \cdot fp_a \cdot \eta_a} \cdot e^{(-j \cdot \text{acos}(fp_a))}$$

$$I_{ma} = 799.248 - 431.388j \text{ A} \quad |I_{ma}| = 908,237 \text{ A}$$

Corrente do conjunto motor - condensador a plena carga,

$$I_a := \frac{\overline{S_a} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V_a} \quad I_a = 799.248 - 234.565j \text{ A}$$

$$|I_a| = 832,957 \text{ A}$$

Impedância do Motor,

$$Z_{ma} := \frac{V_a^2 \cdot fp_a \cdot \eta_a}{P_{ma} \cdot CV \cdot 10^3} \cdot e^{(j \cdot \text{acos}(fp_a))}$$

$$Z_{ma} = 0.246 + 0.133j \text{ } \Omega \quad |Z_{ma}| = 0,28 \text{ } \Omega$$

$$R_{ma} := \text{Re}(Z_{ma}) \quad R_{ma} = 0,246 \text{ } \Omega$$

$$X_{ma} := \text{Im}(Z_{ma}) \quad X_{ma} = 0,133 \text{ } \Omega$$

Em por unidade base de 100 MVA

$$Z_{mapu} := Z_{ma} \cdot \frac{100}{(V_a \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{mapu} = 127.137 + 68.621j \text{ p.u @ 100 MVA}$$

Impedância do Condensador,

$$Zc_a := \frac{V_a^2}{Qc_a \cdot 10^3} \cdot e^{(-j \cdot \frac{\pi}{2})} \quad Zc_a = -1.291j \text{ } \Omega$$

Em por unidade na base de 100 MVA

$$Zc_{apu} := Zc_a \cdot \frac{100}{(V_a \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Zc_{apu} = -666.667j \text{ p.u @ 100 MVA}$$

Impedância equivalente Motor - Condensador em operação normal,

$$Z_{c_{ma}} := \left(\frac{1}{Z_{ma}} + \frac{1}{Z_{ca}} \right)^{-1} \quad Z_{c_{ma}} = 0.293 + 0.086j \quad \Omega$$

$$\text{Verificação: } Z_{ec_{ma}} := \frac{V_a^2}{S_a \cdot 10^3} \quad Z_{ec_{ma}} = 0.293 + 0.086j \quad \Omega$$

$$\text{Em por unidade na base de 100 MVA } Z_{ec_{mapu}} := Z_{c_{ma}} \cdot \frac{100}{(V_a \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{ec_{mapu}} = 151.155 + 44.361j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Comportamento do motor na partida.

Modulo da potência aparente na partida,

$$S_{pa} := P_{ma} \cdot G_a \quad S_{pa} = 4.496,00 \text{ kVA}$$

$$\text{Fator de potência na partida: } fp_{pa} := \frac{P_{ma} \cdot CV}{S_{pa}} \quad fp_{pa} = 0,131$$

$$\text{Corrente do Motor na partida: } I_{pa} := \frac{S_{pa} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V_a} \cdot e^{(-j \cdot \text{acos}(fp_{pa}))}$$

$$I_{pa} = 772.074 - 5.849 \cdot 10^3 j \quad \text{A} \quad I_{pa} = 5.899,47 \text{ A}$$

Impedância do Motor na partida,

$$Z_{pa} := \frac{V_a^2}{S_{pa} \cdot 10^3} \cdot e^{(i \cdot \text{acos}(fp_{pa}))} \quad Z_{pa} = 5.635 \cdot 10^{-3} + 0.043j \quad \Omega$$

Em por unidade na base de 100 MVA

$$Z_{papu} := Z_{pa} \cdot \frac{100}{(V_a \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{papu} = 2.911 + 22.051j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Impedância equivalente Motor - Condensador na partida, em por unidade na base de 100 MVA

$$Z_{ep_{apu}} := \left(\frac{1}{Z_{papu}} + \frac{1}{Z_{c_{apu}}} \right)^{-1}$$

$$Z_{ep_{apu}} = 3.113 + 22.791j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

. Carregamento do Motor

. Com a bomba funcionando a plena carga temos que o carregamento do motor será;

$$C_{ma} := \frac{P_B}{P_{ma}} \quad C_{ma} = 0,973 \text{ p.u satisfaz}$$

. Cabos alimentadores ao Motor,

| | |
|---------------------|--------------------------------------|
| Bitola dos cabos | $3 \cdot (3 \cdot 300 \text{mm}^2)$ |
| Comprimento | $l_{ca} := 245$ metros |
| Isolamento | EPR - EVA |
| Classe isolamento | 0,6/1 kV |
| Resistência do cabo | $rc_a = 0,0808 \ \Omega / \text{km}$ |
| Reatância do cabo | $xc_a = 0,099 \ \Omega / \text{km}$ |

Capacidade de condução de corrente dos cabos $I_{nca} := 1704$ Ampéres em trifólio dentro de Eletroduto.

Os cabos podem conduzir um percentual de corrente de sobrecarga de,

$$psca\% := \frac{I_{nca}}{|I_{ma}|} \cdot 100 \quad psca\% = 187,616 \%$$

Este percentual satisfaz, tendo em vista que com o condensador a corrente que conduzirão normalmente os cabos será $|I_a| = 832,957$ Ampéres, com o que o percentual de condução de corrente de sobrecarga do cabo passa para

$$psca\% := \frac{I_{nca}}{|I_a|} \cdot 100 \quad psca\% = 204,572 \%$$

Impedância dos cabos do alimentador,

$$z_{ca} := \frac{l_{ca}}{1000} \cdot \frac{1}{3} \cdot (rc_a + i \cdot xc_a)$$

$$z_{ca} = 6.599 \cdot 10^{-3} + 8.085 \cdot 10^{-3} j \quad \Omega \quad |z_{ca}| = 0,01 \ \Omega$$

$$\varphi_{ca} = \text{atan}(z_{ca}) \cdot \frac{180}{\pi} \quad \varphi_{ca} = 50,78 \text{ graus}$$

Em por unidade na base de 100 MVA

$$Z_{capu} := z_{ca} \cdot \frac{100}{(V_a \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{capu} = 3.408 + 4.176j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Queda de tensão no alimentador com o Motor somente em operação,

$$\Delta V_a \% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_{ma}| \cdot l_{ca} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left| \left(\frac{rc_a}{1000} \cdot fp_a + \frac{xc_a}{1000} \cdot \sin(\cos(fp_a)) \right) \right|}{V_a} \cdot 100$$

$$\Delta V_a \% = 3,449\%$$

Queda de tensão no alimentador com o Conjunto Motor - Condensador em operação,

$$\Delta V_{ac} \% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_a| \cdot l_{ca} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left| \left(\frac{rc_a}{1000} \cdot fp_{ca} + \frac{xc_a}{1000} \cdot \sin(\cos(fp_{ca})) \right) \right|}{V_a} \cdot 100$$

$$\Delta V_{ac} \% = 2,823\%$$

Suportabilidade ao curto circuito,

$$I_{cca} := 0.3401 \cdot 3 \cdot 300 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.5} \cdot \log\left(\frac{250 + 234.5}{90 + 234.5}\right)} \quad I_{cca} = 180,608 \text{ kA}$$

Energia consumida pelo conjunto Motor - Condensador em um ano:

$$\xi_a := P_a \cdot H_a \quad \xi_a = 4.853.379,74 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual no Motor

$$p\xi_{ma} := \xi_a \cdot (1 - \eta_a) \quad p\xi_{ma} = 165.014,91 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual nos cabos de alimentação ao conjunto Motor - Condensador

$$p\xi_{ca} := 3 \cdot |I_a|^2 \cdot l_{ca} \cdot \frac{\frac{1}{3} \cdot rc_a}{1000} \cdot H_a \cdot 10^{-3} \quad p\xi_{ca} = 109.439,07 \text{ kWh}$$

Energia consumida pelo funcionamento da instalação conjunto Motor - Condensador em um ano: $\xi_{ia} := \xi_a + p\xi_{ca} \quad \xi_{ia} = 4.962.818,81 \text{ kWh}$

Perda de Energia anual da instalação: $p\xi_{at} := p\xi_{ma} + p\xi_{ca}$

$$p\xi_{at} = 274.453,98 \text{ kWh}$$

Percentual de perdas de energia da instalação: $p\xi_{at} \% := \frac{p\xi_{at}}{\xi_{ia}} \cdot 100$

$$p\xi_{at} \% = 5,53\%$$

Percentual de perda de energia anual nos cabos de alimentação ao conjunto

Motor - Condensador $p\xi_{ca} \% := \frac{p\xi_{ca}}{\xi_{ia}} \cdot 100 \quad p\xi_a \% = 2,205 \%$

Perda de Energia anual nos cabos de alimentação ao Motor somente

$$p\xi_{mca} := 3 \cdot \left| (I_{ma})^2 \right| \cdot l_c \cdot \frac{1}{3} \cdot r_{ca} \cdot Ha \cdot 10^{-3} \quad p\xi_{mca} = 130.114,21 \text{ kWh}$$

Energia consumida pelo funcionamento da instalação do Motor em um ano:

$$\xi_{ima} := \xi_a + p\xi_{mca} \quad \xi_{ima} = 4983493,94 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual da instalação:

$$p\xi_{mat} := p\xi_{ma} + p\xi_{mca} \quad p\xi_{mat} = 295.129,12 \text{ kWh}$$

Percentual de perdas de energia da instalação:

$$p\xi_{mat}\% := \frac{p\xi_{mat}}{\xi_{ima}} \cdot 100 \quad p\xi_{mat}\% = 5,922 \%$$

Percentual de perda de energia anual nos cabos de alimentação ao Motor:

$$p\xi_{mca}\% := \frac{p\xi_{mca}}{\xi_{ima}} \cdot 100 \quad p\xi_{mca}\% = 2,611\%$$

Consumo Anual de Energia da Instalação kWh

| | cosφ = 0,96 | cosφ = 0,88 |
|---|--------------------|--------------------|
| Total da Instalação | 4.962.818,81 | 4.983.493,95 |
| Conjunto Motor Condensador | 4.853.379,74 | 4.853.379,74 |
| Perdas de Energia no Alimentador | 109.439,07 | 130.114,21 |
| Perdas de Energia no Motor | 165.014,91 | 165.014,91 |
| Percentual de Perdas Totais | 5,5302% | 5,9221% |
| Percentual de Perdas do Motor | 3,3250% | 3,3112% |
| Percentual de Perdas no Alimentador | 2,0519% | 2,6109% |
| Aumento do consumo por baixo fator de potência | | 0,4166% |

Tabela 6.1 Consumo comparativo com alteração do fator de Potência do Acionamento

B.- Motor com tensão de 4160 Volts

Potência do Motor da Bomba $P_{mb} := 800 \text{ CV}$

Fator de potência $fp_b = 0,86$

Rendimento $\eta_b = 0,963$

Capacitor $Qc_b := 200 \text{ kVAR}$

Tensão $V_b := 4160 \text{ Volts}$

Motor Categoria $G_b := 5,64 \text{ kVA/CV}$

Horas de funcionamento anual $Ha := 7968 \text{ horas}$

Potência aparente do conjunto Motor - Capacitor:

$$S_b := \frac{P_{mb} \cdot CV}{fp_b \cdot \eta_b} \cdot e^{(j \cdot \arccos(fp_b))} + Q_{cb} \cdot e^{(j \cdot \frac{\pi}{2})}$$

$$S_b = 611.006 + 162.55j \quad \text{kVA} \quad |S_b| = 632,259 \text{ kVA}$$

$$P_b := \text{Re}(S_b) \quad P_b = 611,006 \text{ kW}$$

$$Q_b := \text{Im}(S_b) \quad Q_b = 162,55 \text{ kVAR}$$

$$\varphi_b = \text{atan}(S_b) \cdot \frac{180}{\pi} \quad \varphi_b = 14,898 \text{ graus}$$

$$\text{Fator de Potência corrigido: } fp_{cb} := \frac{P_b}{|S_b|} \quad fp_{cb} = 0,966$$

Corrente do motor a plena carga,

$$I_{mb} := \frac{P_{mb} \cdot CV \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V_b \cdot fp_b \cdot \eta_b} \cdot e^{(j \cdot \arccos(fp_b))}$$

$$I_{mb} = 84.799 - 50.317j \quad \text{A} \quad |I_{mb}| = 98,604 \text{ A}$$

Corrente do conjunto motor - condensador a plena carga,

$$I_b := \frac{|S_b| \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V_b} \quad I_b = 84.799 - 22.56j \quad \text{A} \quad |I_b| = 87,749 \text{ A}$$

$$\text{Impedância do Motor: } Z_{mb} := \frac{V_b^2 \cdot fp_b \cdot \eta_b}{P_{mb} \cdot CV \cdot 10^3} \cdot e^{(j \cdot \arccos(fp_b))}$$

$$Z_{mb} = 20.948 + 12.43j \quad \Omega \quad |Z_{mb}| = 24,358 \Omega$$

$$R_{mb} := \text{Re}(Z_{mb}) \quad R_{mb} = 20,48 \Omega$$

$$X_{mb} := \text{Im}(Z_{mb}) \quad X_{mb} = 12,43 \Omega$$

$$\text{Em por unidade na base de 100 MVA: } Z_{mbpu} := Z_{mb} \cdot \frac{100}{(V_b \cdot 10^3)^2}$$

$$Z_{mbpu} = 121.046 + 71.825j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

$$\text{Impedância do Condensador: } Z_{c_b} := \frac{V_b^2}{Q_{c_b} \cdot 10^3} \cdot e^{-j \cdot \frac{\pi}{2}} \quad Z_{c_b} = -86,528j \cdot \Omega \quad \text{Em}$$

$$\text{por unidade na base de 100 MVA } Z_{c_{bpu}} := Z_{c_b} \cdot \frac{100}{(V_b \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{c_{bpu}} = -500j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Impedância equivalente Motor - Condensador em operação normal,

$$Z_{c_{mb}} := \left(\frac{1}{Z_{mb}} + \frac{1}{Z_{c_b}} \right)^{-1} \quad Z_{c_{mb}} = 26.451 + 7.037j \quad \Omega$$

$$\text{Verificação: } Z_{ec_{mb}} := \frac{V_b^2}{S_b \cdot 10^3} \quad Z_{ec_{mb}} = 26.451 + 7.037j \quad \Omega$$

$$\text{Em por unidade na base de 100 MVA: } Z_{ec_{mbpu}} := Z_{ec_{mb}} \cdot \frac{100}{(V_b \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{ec_{mbpu}} = 152.847 + 40.663j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Comportamento do motor na partida.

$$\text{Modulo da potência aparente na partida: } S_{pb} := P_{mb} \cdot G_b \quad S_{pb} = 4.512,00 \text{ kVA}$$

$$\text{Fator de potência na partida: } fp_{pb} := \frac{P_{mb} \cdot CV}{S_{pb}} \quad fp_{pb} = 0,13$$

$$\text{Corrente do Motor na partida: } I_{pb} := \frac{S_{pb} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V_b} \cdot e^{-j \cdot \arccos(fp_{pb})}$$

$$I_{pb} = 81.662 - 620.856j \quad \text{A} \quad |I_{pb}| = 626,203 \quad \text{A}$$

Impedância do Motor na partida,

$$Z_{pb} := \frac{V_b^2}{S_{pb} \cdot 10^3} \cdot e^{j \cdot \arccos(fp_{pb})} \quad Z_{pb} = 0.5 + 3.803j \quad \Omega$$

Em por unidade na base de 100 MVA

$$Z_{pbpu} := Z_{pb} \cdot \frac{100}{(V_b \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{pbpu} = 2.89 + 21.974j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Impedância equivalente Motor - Condensador na partida, em por unidade na base de

$$100 \text{ MVA: } Z_{ep \text{ bpu}} := \left(\frac{1}{Z_{pbpu}} + \frac{1}{Z_{c \text{ bpu}}} \right)^{-1}$$

$$Z_{ep \text{ bpu}} = 3.162 + 22.965j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

. Carregamento do Motor

. Com a bomba funcionando a plena carga temos que o carregamento do motor será;

$$C_{mb} := \frac{P_B}{P_{mb}} \quad C_{mb} = 0,973 \quad \text{p.u satisfaz}$$

. Cabos alimentadores ao Motor,

| | |
|---------------------|---|
| Bitola dos cabos | $3 \cdot 50 \text{mm}^2$ |
| Comprimento | $l_{c \text{ b}} := 245$ metros |
| Isolamento | <i>EPR - EVA</i> |
| Classe isolamento | <i>36,6/6 kV</i> |
| Resistência do cabo | $r_{c \text{ b}} = 0,4577 \Omega / \text{km}$ |
| Reatância do cabo | $x_{c \text{ b}} = 0,147 \Omega / \text{km}$ |

Capacidade de condução de corrente dos cabos $I_{ncb} := 205$ Ampères em trifólio dentro de Eletroduto.

Percentual de condução de corrente de sobrecarga do cabo

$$psc_b\% := \frac{I_{ncb}}{|I_{mb}|} \cdot 100 \quad psc_b\% = 207,903 \%$$

Este percentual satisfaz, tendo em vista que com o condensador a corrente que conduzirão normalmente os cabos será $|I_b| = 87,749$ Ampères com o que o percentual de condução de corrente de sobrecarga do cabo passa para,

$$psc_b\% := \frac{I_{ncb}}{|I_b|} \cdot 100 \quad psc_b\% = 233,622 \%$$

$$\text{Impedância do cabo alimentador: } z_{c \text{ b}} := \frac{l_{c \text{ b}}}{1000} \cdot (r_{c \text{ b}} + i \cdot x_{c \text{ b}})$$

$$z_{c \text{ b}} = 0.112 + 0.036j \quad \Omega \quad |z_{c \text{ b}}| = 0,118 \Omega$$

$$\varphi_b = \frac{180}{\pi} \cdot \arg(z_b) \quad \varphi_b = 17,806 \text{ graus}$$

Em por unidade na base de 100 MVA

$$Z_{cbpu} := zc_b \cdot \frac{100}{(V_b \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z_{cbpu} = 0.648 + 0.208j \quad \text{p.u @ 100 MVA}$$

Queda de tensão no alimentador com o Motor somente em operação,

$$\Delta V_b \% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_{mb}| \cdot lc_b \cdot \left| \left(\frac{rc_b}{1000} \cdot fp_b + \frac{xc_b}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp_b)) \right) \right|}{V_b} \cdot 100$$

$$\Delta V_b = 0,471 \%$$

Queda de tensão no alimentador com o Conjunto Motor - Condensador em operação,

$$\Delta V_{bc} \% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_b| \cdot lc_b \cdot \left| \left(\frac{rc_b}{1000} \cdot fp_{cb} + \frac{xc_b}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp_{cb})) \right) \right|}{V_b} \cdot 100$$

$$\Delta V_{bc} \% = 0,43 \%$$

Suportabilidade ao curto circuito,

$$I_{cc_b} := 0.3401 \cdot 50 \cdot \sqrt{\frac{1}{0.5} \cdot \log\left(\frac{250 + 234.5}{90 + 234.5}\right)} \quad I_{cc_b} = 10,034 \text{ kA}$$

Energia consumida pelo conjunto Motor - Condensador em um ano:

$$\xi_b := P_b \cdot Ha \quad \xi_b = 4.868.499,30 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual no Motor:

$$p\xi_{mb} := \xi_b \cdot (1 - \eta_b) \quad p\xi_{mb} = 180.134,47 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual nos cabos de alimentação ao conjunto Motor - Condensador

$$p\xi_{cb} := 3 \cdot |I_b|^2 \cdot lc_b \cdot \frac{rc_b}{1000} \cdot Ha \cdot 10^{-3} \quad p\xi_{cb} = 20.639,52 \text{ kWh}$$

Energia consumida pelo funcionamento da instalação conjunto Motor - Condensador em um ano:

$$\xi_{ib} := \xi_b + p\xi_{cb} \quad \xi_{ib} = 4.889.138,82 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual da instalação:

$$p\xi_{bt} := p\xi_{mb} + p\xi_{cb} \quad p\xi_{bt} = 200.773,99 \text{ kWh}$$

Percentual de perdas de energia da instalação: $p\xi_{bt} \% := \frac{p\xi_{bt}}{\xi_{ib}} \cdot 100$ $p\xi_{bt} \% = 4,107 \%$

Percentual de perda de energia anual nos cabos de alimentação ao conjunto Motor –

Condensador: $p\xi_{cb} \% := \frac{p\xi_{cb}}{\xi_{ib}} \cdot 100$ $p\xi_{cb} \% = 0,422 \%$

Perda de Energia anual nos cabos de alimentação ao Motor somente

$$p\xi_{mcb} := 3 \cdot \left| (I_{mb})^2 \right| \cdot l_{cb} \cdot \frac{r_{cb}}{1000} \cdot Ha \cdot 10^{-3} \quad p\xi_{mcb}=26.061,80 \text{ kWh}$$

Energia consumida pelo funcionamento da instalação do Motor em um ano:

$$\xi_{imb} := \xi_b + p\xi_{mcb} \quad \xi_{imb}=4.894.561,10 \text{ kWh}$$

Perda de Energia anual da instalação:

$$p\xi_{mbt} := p\xi_{mb} + p\xi_{mcb} \quad p\xi_{mbt}=206.196,27 \text{ kWh}$$

Percentual de perdas de energia da instalação:

$$p\xi_{mbt}\% := \frac{p\xi_{mbt}}{\xi_{imb}} \cdot 100 \quad p\xi_{mbt}\%=4,213 \%$$

Percentual de perda de energia anual nos cabos de alimentação ao Motor:

$$p\xi_{mcb}\% := \frac{p\xi_{mcb}}{\xi_{imb}} \cdot 100 \quad p\xi_{mcb}\% =0,5324 \%$$

Consumo Anual de Energia da Instalação kWh

| | $\cos\phi = 0,966$ | $\cos\phi = 0,86$ |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Total da Instalação | 4.889.138,82 | 4.894.561,10 |
| Conjunto Motor Condensador | 4.868.499,30 | 4.868.499,30 |
| Perdas de Energia no Alimentador | 20.639,52 | 26.061,8 |
| Perdas de Energia no Motor | 180.134,47 | 180.134,47 |
| Percentual de Perdas Totais | 4,1065% | 4,2127% |
| Percentual de Perdas do Motor | 3,6843% | 3,6803% |
| Percentual de Perdas no Alimentador | 0,4221% | 0,5324% |

Aumento do consumo por baixo fator de potência 0,5353%

Tabela 6.2 Consumo anual de energia

O valor médio da Energia elétrica para o setor industrial na região nordeste é,

$$T\xi := 0.17547 \text{ R\$/kWh}$$

assim o custo anual da energia, sem considerar o valor de ajuste por fator de potência é

Custo da Energia em Reais

| | A.- Suprimento em 440 Volts | | B.-Suprimento em 4160 Volts | |
|--|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| | $\cos\phi = 0,96$ | $\cos\phi = 0,88$ | $\cos\phi = 0,966$ | $\cos\phi = 0,86$ |
| Energia total Anual. | 870.825,82 | 874.453,68 | 857.897,04 | 858.848,64 |
| Perdas no Motor. | 28.955,17 | 28.955,17 | 31.608,20 | 31.608,20 |
| Perdas nos Alimentadores. | 19.203,27 | 22.831,14 | 3.621,62 | 4.573,06 |
| Economia devida ao $\cos\phi$ em % | 0,41% | | 0,11% | |
| Economia devida à tensão e $\cos\phi$ em % | | | 1,89% | |

Tabela 6.3 Custo da energia

Verifica-se que a operação mais adequada dos pontos de vista energético e econômico é a alternativa B com o motor suprido em 4160 volts corrigindo o fator de potência do mesmo com condensador de 200 kVAR.

A forma mais eficiente de instalar o capacitor é junto aos terminais do motor, acionado com o mesmo dispositivo de manobra da máquina girante, de maneira a reduzir a corrente que circula pelo alimentador do motor, diminuindo as perdas de energia nos cabos.

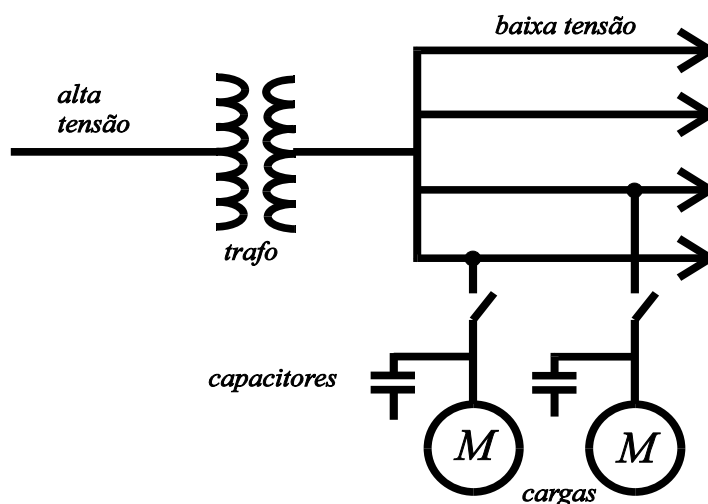


Figura 6.1 Instalação eficiente de capacitores para correção do fator de potencia nos motores

6.2 VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO PARA UM ACIONAMENTO

O acionamento de um misturador funciona em forma ininterrupta durante 7800 horas no ano no segmento horário fora de ponta e gira a 10 r.p.m. com um redutor de velocidade e segundo o fabricante é acionado por um motor de indução com as características a seguir:

Potência do Motor $P_m := 300$ CV

Velocidade Nominal $n := 1780$ r.p.m.

Tensão Nominal $V := 440$ volts

Fator de Potência $fp=0,88$

Rendimento $\eta =0,945$

Horas de funcionamento $H_o := 7800$ horas

O motor é alimentado desde o centro de carga por três cabos unipolares, um por fase com as características a seguir,

| | |
|---------------------|--|
| Bitola dos cabos | 240mm^2 |
| Comprimento | $l_a := 114$ metros |
| Isolamento | EPR - EVA |
| Classe isolamento | 0,6/1 kV |
| Resistência do cabo | $r_{c_a}=0,099 \quad \Omega / \text{km}$ |
| Reatância do cabo | $x_{c_a}=0,100 \quad \Omega / \text{km}$ |

Capacidade de condução de corrente dos cabos $I_{na} := 482$ Amperes em trifólio dentro de Eletroduto.

As medições médias levantadas em campo no motor durante 715 horas foram,

Tensão Média $V_c=439,5$ volts

Corrente Média $I_c=151,4$ Ampéres

Velocidade $nc := 1792$ r.p.m.

Cálculos.

Tarifa de Energia Vigente Horosazonal Azul A4 Industrial

Consumo período Úmido segmento fora de ponta $C_u=135,94$ R\$/MWh

Consumo período Seco segmento fora de ponta $C_s=152,69$ R\$/MWh

Demanda segmento fora de ponta $D_{fp}=18,01958$ R\$/kW

Horas mensais no segmento fora de ponta $H_{fp} := 664$ Horas

Dias do ano no período Úmido $p_U := 151$ Dias

Dias do ano no período Seco $p_S := 214$ Dias

Dias do ano $d_A := 365$ Dias

Fator de carga médio anual no segmento fora de ponta

$$f_c := \frac{H_o}{H_{fp} \cdot 12} \quad f_c=0,979$$

Daqui o preço médio do kWh de energia para o acionamento é,

$$K := \left(\frac{C_u}{1000} + \frac{D_{fp}}{f_c \cdot H_{fp}} \right) \cdot \frac{p_U}{d_A} + \left(\frac{C_s}{1000} + \frac{D_{fp}}{f_c \cdot H_{fp}} \right) \cdot \frac{p_S}{d_A} \quad K = \text{R\$ } 0,173$$

Potência aparente do motor

$$S_m := \frac{P_m \cdot 0.735499}{f_p \cdot \eta} \cdot e^{(i \cdot \text{acos}(f_p))} \quad S_m = 233.492 + 126.025i \quad \text{kVA}$$

Modulo da potência aparente, $|S_m|=265,332$ kVA

A potência ativa absorvida pelo motor com carregamento de 100% é

$$P_{am} := \text{Re}(S_m) \quad P_{am} = 233,492 \text{ kW}, \text{ e as perdas do motor com esse}$$

carregamento são, $p_n := P_{am} - (P_m \cdot 0.735499) \quad p_n=12,842$ kW

Perda de energia anual no motor

$$p_{\xi a} := \int_0^{H_o} p_n dt \quad p_{\xi a} = 100.167,96 \text{ kWh}$$

Custo das perdas anuais do motor, $Q_p := p_{\xi a} \cdot K \quad Q_p = \text{R\$ } 17.377,44$

Corrente nominal do motor,

$$I_m := \frac{P_m \cdot 735.499}{\sqrt{3} \cdot V \cdot f_p \cdot \eta} \cdot e^{(-i \cdot \text{acos}(f_p))} \quad I_m = 306.378 - 165.366i \quad \text{A}$$

$$|I_m| = 348,157 \text{ A}$$

Queda de tensão no alimentador do Motor,

$$\Delta V\% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_m| \cdot l_a \cdot \left| \left(\frac{r_{c a}}{1000} \cdot f_p + \frac{x_{c a}}{1000} \cdot \sin(\arccos(f_p)) \right) \right|}{V} \cdot 100$$

$$\Delta V\% = 2,103 \%$$

A perda de energia anual no alimentador é

$$p_{\xi ca} := 3 \cdot \left[\int_0^{H_0} r_{c a} \cdot (|I_m|)^2 dt \right] \cdot 10^{-3} \quad p_{\xi ca} = 280.803,27 \text{ kWh}$$

Custo das perdas anuais no alimentador

$$Q_a := p_{\xi ca} \cdot K \quad Q_a = \text{R\$ } 48.714,59$$

E o custo das perdas de energia elétrica anual no acionamento do misturador é de

$$Q_{ta} := Q_p + Q_a \quad Q_{ta} = \text{R\$ } 66.092,02$$

Torque nominal do motor

$$\tau_m := \frac{P_m \cdot 735.499}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad \tau_m = 1.183,74 \text{ Nm}$$

Análise das medições levantadas em campo no motor.

Carregamento do motor.

a. - Análise pelo aumento da velocidade.

Velocidade síncrona $n_s := 1800$ r.p.m.

A carga efetiva do motor é aproximadamente,

$$\gamma_n\% := \frac{n_s - n_c}{n_s - n} \cdot 100 \quad \gamma_n\% = 40 \%$$

b. - Nas curvas de desempenho do motor mostradas na figura 6.2, verifica-se que com este carregamento o motor apresenta um fator de potência $f_{pc} = 0,78$ e um rendimento de $\eta_c = 0,91$

Verifica-se ainda, por estas curvas, que a corrente média medida coincide com o valor da curva de corrente do motor para a carga calculada.

Assim temos uma potência aparente do motor

$$S_{mc} := \sqrt{3} \cdot V_c \cdot I_c \cdot 10^{-3} \cdot e^{(i \cdot \arccos(f_{pc}))} \quad S_{mc} = 89,9 + 72,12j \text{ kVA}$$

$$|S_{mc}| = 115,25 \text{ kVA}$$

A potência ativa absorvida pelo motor com carregamento de 40% é $P_{ac} := \text{Re}(S_{mc})$
 $P_{ac} = 89,9$ kW e uma potência mecânica no eixo do motor de,

$$P_{mc} := \frac{P_{ac} \cdot \eta_c}{0,735499} \quad P_{mc} = 112,22 \text{ CV}$$

O torque desenvolvido pelo motor é portanto,

$$\tau_{mc} := \frac{P_{mc} \cdot 735.499}{2 \cdot \pi \cdot \frac{nc}{60}} \quad \tau_{mc} = 435,93 \text{ Nm}$$

Característica de Desempenho

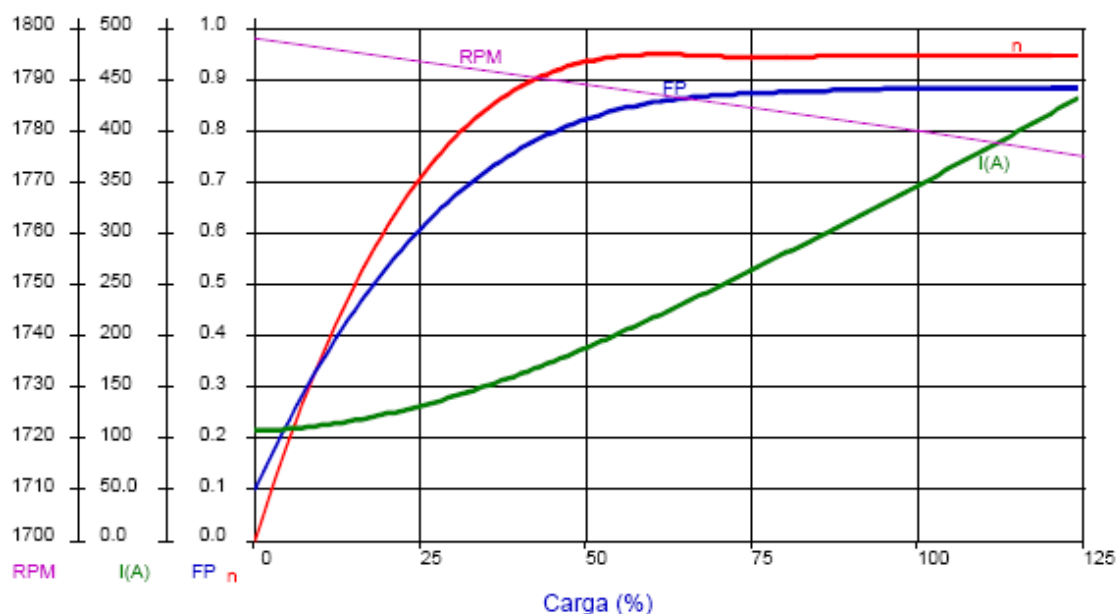


Figura 6.2 Características de desempenho do motor de 300 CV

Consumo de energia do motor com 40% de carregamento

$$\xi_a := \int_0^{H_0} P_{ac} dt \quad \xi_a = 701.188,18 \text{ kWh}$$

e as perdas do motor com esse carregamento é,

$$p_c := P_{ac} - (P_{mc} \cdot 0.735499) \quad p_c = 8,09 \text{ kW}$$

daqui, a variação de perdas devida ao menor carregamento é,

$$\Delta p\% := \frac{p_c}{p_n} \cdot 100 \quad \Delta p\% = 63 \%$$

Perda de energia anual

$$p_{\xi ac} := \int_0^{H_0} p_c dt \quad p_{\xi ac} = 63.106,94 \text{ kWh}$$

No alimentador as perdas de energia anual são,

$$p_{\xi cc} := 3 \cdot \left[\int_0^{H_0} r_{ca} \cdot (|I_c|)^2 dt \right] \cdot 10^{-3} \quad p_{\xi cc} = 53101,01 \text{ kWh}$$

Assim as perdas totais no acionamento elétrico nestas condições são

$$p_{\xi am} := p_{\xi ac} + p_{\xi cc} \quad p_{\xi am} = 116207,95 \text{ kWh}$$

O consumo anual de energia do acionamento nestas condições é de

$$\xi_t := \xi_a + p_{\xi cc} \quad \xi_t = 754.289,19 \text{ kWh}$$

O custo destas perdas é

$$Q_{am} := p_{\xi am} \cdot K \quad Q_{am} = \text{R\$ } 20.160,10$$

e o custo da energia anual é,

$$Q_t := \xi_t \cdot K \quad Q_t = \text{R\$ } 130.856,34$$

Isto mostra que o motor não foi dimensionado adequadamente para o acionamento

Desta forma neste caso é recomendável substituir o motor por uma nova unidade com as características a seguir,

$$\text{Potência do Motor } P_s := 125 \text{ CV}$$

$$\text{Velocidade Nominal } n_r := 1775 \text{ r.p.m.}$$

$$\text{Tensão Nominal } V := 440 \text{ volts}$$

$$\text{Fator de Potência } f_{ps} = 0,87$$

$$\text{Rendimento } \eta_s = 0,938$$

A justificativa desta escolha, está no fato que o motor selecionado ficará com uma carga aproximada de

$$\gamma_s \% := \frac{P_{mc}}{P_s} \cdot 100 \quad \gamma_s \% = 88,98 \% \quad \gamma_s := \frac{P_{mc}}{P_s} \quad \gamma_s = 0,89 \text{ p.u}$$

Potência aparente do motor

$$S_s := \frac{P_s \cdot 0.735499}{f_{ps} \cdot \eta_s} \cdot e^{(i \cdot \arccos(f_{ps}))} \quad S_s = 98.01 + 55.55j \quad \text{kVA}$$

$$|S_s| = 112,66 \text{ kVA}$$

A potência ativa absorvida pelo motor com carregamento de 100% é

$$P_{as} := \text{Re}(S_s) \quad P_{as} = 98,01 \text{ kW}, \text{ e as perdas do motor com esse}$$

carregamento é,

$$p_s := P_{as} - (P_s \cdot 0.735499) \quad p_s = 6,08 \text{ kW}$$

E a perda de energia anual

$$p_{\xi as} := \int_0^{H_o} p_s dt \quad p_{\xi as} = 47.399,70 \text{ kWh}$$

E o custo das perdas anuais do motor agora é,

$$Q_{ps} := p_{\xi as} \cdot K \quad Q_{ps} = \text{R\$ } 8.223,04$$

Corrente nominal do motor,

$$I_{ms} := \frac{P_s \cdot 735.499}{\sqrt{3} \cdot V \cdot f_{ps} \cdot \eta_s} \cdot e^{(-i \cdot \arccos(f_{ps}))} \quad I_{ms} = 128.61 - 72.89j \quad \text{A}$$

$$|I_{ms}| = 147,83 \text{ A}$$

Torque nominal do motor

$$\tau_s := \frac{Ps \cdot 735.499}{2 \cdot \pi \cdot \frac{nr}{60}} \quad \tau_s = 494,61 \text{ Nm}$$

Ao se corrigir o fator de potência do motor ligando um condensador de 25 kVAR na caixa de terminais do mesmo para ser operado o conjunto motor condensador com o mesmo equipamento de manobra teríamos,

Potência aparente do conjunto motor condensador,

$$S_{sc} := \frac{Ps \cdot 0.735499}{fps \cdot \eta_s} \cdot e^{(i \cdot \text{acos}(fps))} + 25 \cdot e^{\left(-i \cdot \frac{\pi}{2}\right)}$$

$$S_{sc} = 98.01 + 30.55j \quad \text{kVA} \quad |S_{sc}| = 102,66 \text{ kVA}$$

Assim, novo fator de potência passa a ser, $fp_{sc} := \frac{\text{Re}(S_{sc})}{|S_{sc}|} \quad fp_{sc} = 0,95$

Corrente do conjunto motor condensador fica em, $I_{sc} := \frac{\overline{S_{sc}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot V}$

$$I_{sc} = 128.61 - 40.08j \quad \text{A} \quad |I_{sc}| = 134,71 \text{ A}$$

O consumo de energia anual deste motor é aproximadamente

$$\xi_{sc} := \int_0^{Ho} \text{Re}(S_{sc}) \cdot \gamma_s dt \quad \xi_{sc} = 680.257,19 \text{ kWh ao considerar}$$

conservativamente, que com o carregamento calculado não são significativas as variações de rendimento e fator de potência.

A queda de tensão no alimentador do conjunto Motor Condensador passa a ser ,

$$\Delta V\% := \frac{\sqrt{3} \cdot |I_{sc}| \cdot l_a \cdot \left| \left(\frac{rc_a}{1000} \cdot fp + \frac{xc_a}{1000} \cdot \sin(\text{acos}(fp)) \right) \right|}{V} \cdot 100$$

$$\Delta V\% = 0,81 \%$$

A perda de energia anual no alimentador diminui para

$$p\xi_{sc} := 3 \cdot \left[\int_0^{Ho} rc_a \cdot (|I_{sc}|)^2 dt \right] \cdot 10^{-3} \quad p\xi_{sc} = 42.039,94 \text{ kWh}$$

As perdas totais anuais do acionamento elétrico com o motor de 125 CV ficam em

$$p\xi_{mt} := p\xi_{as} + p\xi_{sc} \quad p\xi_{mt} = 89.439,64 \text{ kWh}$$

O consumo anual de energia é $\xi_{tsc} := \xi_{sc} + p\xi_{sc} \quad \xi_{tsc} = 722.297,13 \text{ kWh}$

e o custo desta energia é $Qt_{sc} := \xi_{tsc} \cdot K \quad Qt_{sc} = \text{R\$ } 125.306,26$

O custo das perdas anuais no alimentador fica reduzido a

$$Qa := p\xi_{sc} \cdot K \quad Qa = \text{R\$ } 7.293,21$$

E o custo total anual das perdas é reduzido para,

$$Q_{pmt} := Q_{ps} + Qa \quad Q_{pmt} = \text{R\$ } 15.516,26$$

Com a substituição do motor com fator de potência corrigido o custo da energia tem uma redução de: $rq\xi\% := \frac{Qt - Q_{tsc}}{Qt} \cdot 100$ $rq\xi\% = 4,24\%$ e as perdas anuais de energia

$$\text{tem uma redução de } rp\% := \frac{p\xi_{am} - p\xi_{mt}}{p\xi_{am}} \cdot 100 \quad rp\% = 23,03\%$$

O que representa uma economia anual no custo anual por perdas de energia também

$$\text{de: } \varepsilon\% := \frac{Q_{am} - Q_{pmt}}{Q_{am}} \cdot 100 \quad \varepsilon\% = 23,03\%$$

| | Consumo de Energia kWh | | Custo da Energia em Reais | |
|--------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | Motor 300CV | Motor 125CV | Motor 300CV | Motor 125CV |
| Carregamento | 40% | 88,98% | 40% | 88,98% |
| Energia total Anual | 754.289,19 | 722.297,13 | 130.856,34 | 125.306,27 |
| Consumo do Motor | 701.188,18 | 680.257,19 | 121.644,23 | 118.013,06 |
| Perdas no Motor | 63.106,94 | 47.399,70 | 10.947,98 | 8.223,04 |
| Perdas nos Alimentadores | 53.101,01 | 42.039,94 | 9.212,12 | 7.293,21 |

Tabela 6.4 Comparativo de energia e custo de energia entre motores de 300 CV e 125 CV

Neste caso particular do acionamento do misturador a substituição do motor por outra unidade de menor potência e com o mesmo número de pólos, teve resultado satisfatório.

Porém, em geral quando se procede à substituição de unidades motrizes da mesma potência, é indispensável verificar se o novo motor possui o valor de torque nominal que atenda satisfatoriamente à carga acionada, já que se isto não for atendido, há necessidade de aumentar o número de pólos da máquina.

RESUMO

Nos estudos de caso analisados verificam-se

- O benefício energético ao se manter elevado o valor de fator de potência individualmente em cada equipamento, principalmente tratando-se de motor.
- A economia nos custos das perdas ao se elevar a tensão de motores de potencia elevada geralmente acima de 200 CV, devido as menores correntes envolvidas com a conseqüente redução das perdas.
- A eliminação do desperdício de energia ao se dimensionar adequadamente o motor ajustando o seu carregamento para o acionamento.

7. - PROPOSTAS DE ATUAÇÃO REGULATÓRIA

A crise de energia elétrica de 2000/2001 mostrou talvez em sua maior dimensão a importância da Conservação da Energia e, conseqüentemente, o primordial valor da Eficiência Energética nos sistemas elétricos.

Estas ações de eficiência energética nestes sistemas são desenvolvidas pelos Ministérios das Minas e Energia, de Ciência e Tecnologia e Indústria e Comércio, pela Agência Reguladora de Energia Elétrica ANEEL, pelas concessionárias do serviço público de energia elétrica representadas por sua associação ABRADDEE e principalmente pelo PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

Este programa através do selo PROCEL de Economia de Energia e do selo PROCEL/INMETRO¹² de desempenho, tem proporcionado desde sua instituição quantias significativas de redução de consumo de energia elétrica em eletrodomésticos, lâmpadas fluorescentes, reatores eletromagnéticos para iluminação fluorescente e motores de indução trifásicos de baixa tensão. Ainda com o estabelecimento do SELO o programa tem envolvido importantes instituições dos setores públicos e privados na nobre ação de eficiência e conservação da energia elétrica, como mostra a composição da Comissão Técnica do Selo 2005 que além do PROCEL foi integrada por,

- CEPEL Centro de pesquisas da Energia Elétrica,
- INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
- ABILUX Associação Brasileira da Indústria da Iluminação
- ABINEE Associação Brasileira da Indústria da Indústria Elétrica e Eletrônica.
- ABRAVA Associação Brasileira da Refrigeração Ar Condicionado Ventilação e Aquecimento.
- ELECTROS Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos
- IDEC Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor.

Há muitos esforços, com expressivos resultados, desenvolvidos pelo Estado e por destacados segmentos da sociedade na aplicação do conhecimento tecnológico na conservação e aprimoramento dos recursos energéticos, através de legislação de regulação, de incentivo à pesquisa e divulgação de suas conclusões, de cursos de qualificação técnica, etc.

A observação destas ações aplicadas aos sistemas elétricos mostra a preocupação crescente com os consumos finais de energia elétrica, que se deve transformar em uma atenção contínua de toda a sociedade, expõe também a urgente necessidade se ter o mesmo

zelo com os projetos dos sistemas elétricos das unidades consumidoras, minimizando as perdas de energia nos seus componentes, otimizando o uso da energia elétrica.

Normalmente a instalação do sistema elétrico de um consumidor de médio ou grande porte com carga instalada superior a 75 kW é suprida a partir das redes de distribuição do concessionário ou diretamente da rede básica, caso a instalação se enquadre nas características estabelecidas pela resolução N°. 456/2000 da ANEEL, para fazer opção como consumidor livre.

Deste modo invariavelmente, a unidade consumidora deve projetar sua instalação elétrica com uma subestação transformadora para receber a energia em tensão primária e abaixar para tensão de consumo dessa energia.

O projeto elétrico destas unidades consumidoras deverá ter sempre incorporado ao seu memorial de cálculo o estudo de eficiência energética, que consistirá nos cálculos demonstrativos de minimização de seus elementos componentes tais como barramentos, cabos, transformadores, motores etc.

Nas propostas de projeto aqui apresentadas verifica-se que a minimização das perdas no projeto de sistema elétrico do consumidor é alcançada quando é diminuído o percentual de queda de tensão nos cabos e reduzindo os consumos reativos, elevando o valor do fator de potência do sistema.

O simples estudo de instalação predial mostra redução de perdas nos cabos e transformadores de no entorno de 40% em relação a um projeto convencional com um único centro de carga.

De forma similar é mostrado a de redução de perdas de energia que existe nas instalações industriais quando são reduzidos os consumos reativos elevando o fator de potência, dimensionando adequadamente à carga os motores e suprimindo as cargas de grande porte em tensão normalizada mais elevada, onde se atinge no entorno de 20% a redução de perdas.

Na consecução deste objetivo é necessária uma coordenada ação de regulação que adote as providências propostas aos agentes reguladores, na forma enumerada a seguir:

7.1 PROPOSTAS DE NORMALIZAÇÃO.

Propõe-se que a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas através do Comitê Técnico Brasileiro de Eletricidade COBEI estude elaborar normas técnicas de,

- Padronização de transformadores secos com tensões primárias de 1 kV a 36,2 kV;
- Padronização de **QUALIDADE DE ENERGIA** nos sistemas elétricos nos diversos níveis de tensão de distribuição e transmissão, abrangendo as distorções harmônicas, e flutuações de tensão, de forma similar as recomendações das normas IEEE Std. 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, e

IEEE Std.519 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

- Estudar a possibilidade de alterar, como indicado, as normas citadas a seguir:
 - **NBR 5410 de 2004** Instalações Elétricas de Baixa Tensão, e **NBR 14039 de 2003** Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV, nos seus itens **6.2.7 QUEDAS DE TENSÃO**, reduzir os valores dos percentuais ali normalizados.
 - **NBR 5440 de 1999** Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição – Padronização, nas tabelas de números **5, 6,7 e 8 do seu “Anexo A-TABELAS”** reduzir os valores garantidos de perdas, correntes de excitação e tensões de curto circuito ali padronizados.

7.2 PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DE RESOLUÇÃO

Propõe-se que a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Promova estudos para verificar a conveniência da alteração do artigo 64 da Resolução nº. 456 de 2000, fixando o valor mínimo permitido do fator de potência de referência “**fr.**”, de que trata este artigo, em **0,95**, como nas legislações de regulação de países como Argentina, Equador e Bélgica, sendo na Alemanha e a Suíça o esse valor é de **0,96**.

7.3 PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DE NORMAS E PADRÕES

Propõe-se que a ABRADDEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. promova estudos para a modificação de normas e padrões das Concessionárias para o Fornecimento de Energia a Edifícios de Uso Coletivo, de forma a tornar possível o projeto de subestações transformadoras blindadas internas com transformadores secos de pequeno porte, dispostas na maior dimensão do volume construído do prédio, e supridas em tensão primária de distribuição por alimentadores formados por cabos isolados.

Ainda as concessionárias poderão alterar os padrões de medição de energia nestas unidades consumidoras com a adoção para estes consumidores da telemedição, fazendo uso de aprimoramento tecnológico, utilizando os medidores eletrônicos de energia elétrica padronizados nas normas ABNT NBR 14519, NBR 14520 NBR 14521 e NBR 14522.

7.4 PROPOSTA AS PREFEITURAS MUNICIPAIS

Propõe-se que as PREFEITURAS MUNICIPAIS por necessário e oportuno, elaborarem estudos para a introdução na legislação dos Municípios, no que se refere ao **ORDENAMENTO DO USO E DA OCUPAÇÃO DO SOLO**, de dispositivos que determinem a obrigatoriedade da apresentação de estudo energético contendo critérios de eficiência energética envolvendo em forma integrada os projetos executivos das unidades

consumidoras, como condição prévia à concessão do ALVARÁ DE CONSTRUÇÃO de qualquer edificação que se destine a qualquer finalidade.

A implantação destas ações de regulação propostas dever-se-á dar coordenadamente entre os agentes de normalização, de regulação, de representação de concessionários e consumidores, sendo essencial a ativa participação do programa PROCEL devido a sua ampla abrangência e precípuo trabalho na eficiência energética dos sistemas elétricos.

Como ilustração afirmativa destas propostas, verifica-se os valores de aumento de rendimento obtidos pela adoção do programa de etiquetagem, SELO PROCEL, nos motores elétricos de baixa tensão e eletrodomésticos.

Ainda num alargamento do seu profícuo trabalho, o PROCEL deverá ampliar a abrangência do seu SELO de desempenho a todos os equipamentos industriais de processo, máquinas ferramentas e de todo e qualquer equipamento ou aparelho que utilize energia elétrica, de modo a garantir ao consumidor a eficiência energética, e para a sociedade a garantia de uma efetiva contribuição à preservação do meio ambiente.

RESUMO

As propostas de atuação regulatória abrangem as normas técnicas e os padrões de ligação às redes das concessionárias, referentes as instalações elétricas de consumidores.

È proposto ainda estudos para alteração do valor mínimo permitido do fator de potência de referência, e adequação da legislação dos municípios que permita à fiscalização verificar a eficiência energética dos projetos de instalações elétricas de consumidores.

Sugere-se também o alargamento de abrangência do SELO PROCEL de desempenho para todos os equipamentos industriais de processo, máquinas ferramentas e de todo e qualquer equipamento ou aparelho que utilize energia elétrica.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Verifica-se que há um potencial de melhoria de eficiência energética nas instalações elétricas de consumidores em nível de projeto. A redução das perdas de energia elétrica, alcançada a partir da revisão e adequação das normas e procedimentos de projeto, será uma contribuição importante ao objetivo de atingir uma maior eficiência nos sistemas elétricos.

A ampliação do envolvimento ordenado e coordenado de um maior número de agentes e consumidores do setor elétrico nestas ações de conservação da energia deve contribuir substancialmente para o desenvolvimento sustentável dos sistemas elétricos.

Nesta dissertação são apresentadas algumas sugestões para o caso de instalações prediais e industriais ilustrados com estudos de casos específicos que comprovam que ao se reduzir a queda de tensão a valores inferiores aos recomendados pela normalização atual nos alimentadores, elevar o fator de potência a índices superiores ao estabelecido pela legislação reguladora e tendo especial atenção na elaboração do projeto elétrico de consumidores no dimensionamento dos transformadores de distribuição, de força e de potência especificando sua relação de perdas para o rendimento máximo respectivo consegue-se reduzir as perdas de energia nos sistemas elétricos de consumidores.

Ainda na elaboração dos projetos para consumidores há de se ter especial zelo na correção do fator de potência com capacitores, dispondo a instalação dos mesmos, sempre que possível junto às fontes de energia reativa, no intuito de reduzir a circulação da corrente reativa pelos condutores e desse modo mitigar as perdas de energia nos cabos alimentadores para centros de carga e para equipamentos em geral.

No futuro, no planejamento das instalações elétricas, há necessidade de imbuir à cultura de eficiência energética.

Inicialmente para diminuir a demanda, pode-se verificar a redução das transformações da energia elétrica em energias de âmbito térmico, como sistemas de ar condicionado e aquecimento, onde é possível a utilização de energia solar ou outras energias renováveis.

Ainda na busca da eliminação dos desperdícios e racionalização no uso de energia é recomendável uma atuação multidisciplinar na concepção dos projetos e no planejamento de operação das instalações de utilidade principalmente onde há volume expressivo de envolvimento de diversos tipos de energia.

Neste contexto, se faz necessário que nos cursos de engenharia seja criada uma disciplina de eficiência energética para que os futuros engenheiros, que com seu trabalho respondem por uma parte importante do produto interno bruto da sociedade, tenham sua atuação profissional permeada destes conceitos que buscam um desenvolvimento sustentável.

8.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Há um caminho aberto para o desenvolvimento de modelos de instalações para prédios específicos como construções hospitalares, prédios escolares, de escritórios, centros comerciais, hotéis etc., que incorporem a de eficiência energética abordada de uma forma holística englobando as várias formas de energia utilizadas nos mesmos, de modo a tentar elaborar padrões que possam servir de referência para construção e possibilitem uma adequada de avaliação energética.

No setor industrial também é possível elaborar estes procedimentos para diversos tipos de indústrias e processos industriais, onde poderão se obter índices de eficiência do tipo **produto/kWh** que provoca uma maior sensibilidade na avaliação energética.

9. BIBLIOGRAFIA

ANDREAS John C. Energy – Efficient Electric Motors – Second Edition Marcel Dekker, Inc.

COTRIM, Ademaro A.M.B., Instalações Elétricas – 4ª edição - São Paulo: Prentice Hall.

E.E. STAFF del MIT. Circuitos Magnéticos y Transformadores – Editorial Reverté S.A. 1965

GÖNEN Turan Electric Power Distribution Systems Engineering Mc Graw Hill 1986

MAMEDE, João F., Instalações Elétricas Industriais – Rio de Janeiro: Editora LTC.

MOROZOWSKI FILHO, Marciano Características da Indústria de Energia Elétrica.

REIS,L B e SILVEIRA S, Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável São Paulo EDUSP

ABNT –NBR 5410 Instalações elétricas de baixa tensão.

ABNT –NBR 5440 Transformadores para redes de distribuição.

ABNT NBR 14039 Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.

ABNT NBRNM 280 Condutores para cabos isolados.

ABNT NBR 10295 Transformadores de Potência Secos.

ABNT NBR 6979 Conjuntos de manobra e controle em invólucro metálico para tensões de 1 kV até 36 kV. – Especificação

ANEEL Resolução 456/2000

COELBA Norma Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações de uso Coletivo

COELBA Norma Fornecimento de Energia Elétrica em tensão primária de Distribuição classe 15 kV

CATLOGO SELO PROCEL 2005

.

Páginas na INTERNET:

- www.abnt.org.br
- www.aneel.gov.br
- www.abradee.org.br
- www.eletrabras.gov.br
- www.eletropaulo.com.br
- www.copel.com

10.ANEXOS

PARÂMETROS CABOS CLASSE 8,7/15 kV, ISOLAMENTO EM CLORETO DE POLIVINILA PVC
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO TENSÃO PRIMÁRIA 13,8 kV.

CABO BITOLA 25 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|--------|---------|-------|-------|-------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,8583 | 0,87 | 0,86415 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,175 | 0,1730 | 0,17400 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 17032 | 16627 | 16829,50 | 9,02 | 215,52 | 4,03 | 96,38 | 2,85 | 68,15 |

CABO BITOLA 35 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|--------|---------|--------|-------|-------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,6132 | 0,627 | 0,62010 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,166 | 0,1630 | 0,16450 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 15432 | 15186 | 15309,00 | 12,62 | 301,73 | 5,65 | 134,94 | 3,99 | 95,41 |

CABO BITOLA 50 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,4295 | 0,463 | 0,44625 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,157 | 0,1560 | 0,15650 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 13857 | 14013 | 13935,00 | 18,03 | 431,04 | 8,06 | 192,77 | 5,70 | 136,31 |

CABO BITOLA 70 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,3071 | 0,321 | 0,31405 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,147 | 0,1470 | 0,14700 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 12443 | 12573 | 12508,00 | 25,25 | 603,45 | 11,29 | 269,87 | 7,98 | 190,83 |

CABO BITOLA 95 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,2352 | 0,2267 | 0,23095 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1090 | 0,1420 | 0,12550 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 11284 | 11167 | 11225,50 | 34,26 | 818,97 | 15,32 | 366,25 | 10,83 | 258,98 |

CABO BITOLA 120 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|---------|-------------|------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,1808 | 0,17990 | 0,18035 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1076 | 0,13800 | 0,12280 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 10167 | 10280 | 10223,50 | 43,28 | 1034,49 | 19,36 | 462,64 | 13,69 | 327,13 |

CABO BITOLA 150 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,1502 | 0,1445 | 0,14735 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1074 | 0,1330 | 0,12020 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 9428 | 9448 | 9438,00 | 54,10 | 1293,11 | 24,19 | 578,30 | 17,11 | 408,92 |

CABO BITOLA 185 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,1226 | 0,1179 | 0,12025 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1073 | 0,1290 | 0,11815 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 8695 | 8709 | 8702,00 | 66,72 | 1594,84 | 29,84 | 713,23 | 21,10 | 504,33 |

CABO BITOLA 240 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------------|------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,0958 | 0,0921 | 0,09395 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1070 | 0,1240 | 0,11550 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 7874 | 7882 | 7878,00 | 86,56 | 2068,98 | 38,71 | 925,28 | 27,37 | 654,27 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 8,7/15 kV, ISOLAMENTO EM CLORETO DE POLIVINILA PVC
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO TENSÃO PRIMÁRIA 13,8 kV.

| CABO BITOLA 300 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,0781 | 0,0749 | 0,07650 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1068 | 0,1200 | 0,11340 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 7196 | 7208 | 7202,00 | 108,20 | 2586,22 | 48,39 | 1156,59 | 34,22 | 817,84 |

| CABO BITOLA 400 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,0608 | 0,0583 | 0,05955 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1058 | 0,1160 | 0,11090 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 6405 | 6411 | 6408,00 | 144,27 | 3448,30 | 64,52 | 1542,13 | 45,62 | 1090,45 |

| CABO BITOLA 500 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,0507 | 0,04880 | 0,04975 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1051 | 0,11200 | 0,10855 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 5784 | 5798 | 5791,00 | 180,33 | 4310,37 | 80,65 | 1927,66 | 57,03 | 1363,06 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 8,7/15 kV, ISOLAMENTO EM BORRACHA ETILENO PROPILENO EPR
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO TENSÃO PRIMÁRIA 13,8 kV.

| CABO BITOLA 25 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|---------|--------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,92716 | 0,9287 | 0,92793 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,17265 | 0,1790 | 0,17583 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 12607 | 9779 | 11193,00 | 11,22 | 268,14 | 5,02 | 119,92 | 3,55 | 84,79 |

| CABO BITOLA 35 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|---------|--------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,66839 | 0,6694 | 0,66890 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,16507 | 0,1526 | 0,15884 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 11493 | 8781 | 10137,00 | 15,71 | 375,39 | 7,02 | 167,88 | 4,97 | 118,71 |

| CABO BITOLA 50 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|---------|--------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,49381 | 0,4948 | 0,49431 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,15514 | 0,1455 | 0,15032 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 10369 | 7857 | 9113,00 | 22,44 | 536,28 | 10,03 | 239,83 | 7,09 | 169,59 |

| CABO BITOLA 70 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|---------|--------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,34227 | 0,3432 | 0,34274 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,14866 | 0,1374 | 0,14303 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 9355 | 6954 | 8154,50 | 31,41 | 750,79 | 14,05 | 335,76 | 9,93 | 237,42 |

| CABO BITOLA 95 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,2480 | 0,24691 | 0,24746 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1280 | 0,1403 | 0,13416 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 6366 | 8383 | 7374,50 | 42,63 | 1018,93 | 19,06 | 455,68 | 13,48 | 322,21 |

| CABO BITOLA 120 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1970 | 0,19617 | 0,19659 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1240 | 0,13632 | 0,13016 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 5816 | 7710 | 6763,00 | 53,85 | 1287,07 | 24,08 | 575,59 | 17,03 | 407,01 |

| CABO BITOLA 150 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1610 | 0,15952 | 0,16026 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1200 | 0,13129 | 0,12565 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 5355 | 7103 | 6229,00 | 67,31 | 1608,83 | 30,10 | 719,49 | 21,28 | 508,76 |

| CABO BITOLA 185 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1300 | 0,12817 | 0,12909 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1170 | 0,12839 | 0,12270 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 5061 | 6604 | 5832,50 | 83,01 | 1984,23 | 37,13 | 887,37 | 26,25 | 627,47 |

| CABO BITOLA 240 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1000 | 0,09866 | 0,09933 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1150 | 0,1233 | 0,11914 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 4936 | 5946 | 5441,00 | 107,69 | 2574,13 | 48,16 | 1151,19 | 34,06 | 814,01 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 8,7/15 kV, ISOLAMENTO EM BORRACHA ETILENO PROPILENO EPR
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO TENSÃO PRIMÁRIA 13,8 kV.

| CABO BITOLA 300 mm ² | | | | SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------------------------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,0810 | 0,07995 | 0,08048 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1120 | 0,1186 | 0,11531 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 4636 | 5437 | 5036,50 | 134,62 | 3217,67 | 60,20 | 1438,98 | 42,57 | 1017,52 |

| CABO BITOLA 400 mm ² | | | | SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------------------------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,0660 | 0,06430 | 0,06515 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1080 | 0,11439 | 0,11120 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 4103 | 4832 | 4467,50 | 179,49 | 4290,22 | 80,27 | 1918,65 | 56,76 | 1356,69 |

| CABO BITOLA 500 mm ² | | | | SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------------------------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,0540 | 0,05226 | 0,05313 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1105 | 0,11300 | 0,11175 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 3743 | 4436 | 4089,50 | 224,36 | 5362,78 | 100,34 | 2398,31 | 70,95 | 1695,86 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 8,7/15 kV, ISOLAMENTO EM PLIETILENO RETICULADO XLPE
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO TENSÃO PRIMÁRIA 13,8 kV.

| CABO BITOLA 25 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,9280 | 0,92716 | 0,92758 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1700 | 0,17265 | 0,17133 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 14412 | 15128 | 14770,00 | 11,22 | 268,14 | 5,02 | 119,92 | 3,55 | 84,79 |

| CABO BITOLA 35 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,6700 | 0,66839 | 0,66920 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1620 | 0,16507 | 0,16354 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 14866 | 13792 | 14329,00 | 15,71 | 375,39 | 7,02 | 167,88 | 4,97 | 118,71 |

| CABO BITOLA 50 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,4950 | 0,49381 | 0,49441 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1550 | 0,15514 | 0,15507 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 13678 | 12442 | 13060,00 | 22,44 | 536,28 | 10,03 | 239,83 | 7,09 | 169,59 |

| CABO BITOLA 70 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,3430 | 0,34227 | 0,34264 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1450 | 0,14866 | 0,14683 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 12161 | 11226 | 11693,50 | 31,41 | 750,79 | 14,05 | 335,76 | 9,93 | 237,42 |

| CABO BITOLA 95 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,2480 | 0,24691 | 0,24746 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1380 | 0,14031 | 0,13916 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 10888 | 10060 | 10474,00 | 42,63 | 1018,93 | 19,06 | 455,68 | 13,48 | 322,21 |

| CABO BITOLA 120 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1980 | 0,19617 | 0,19709 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1340 | 0,13632 | 0,13516 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 10078 | 9252 | 9665,00 | 53,85 | 1287,07 | 24,08 | 575,59 | 17,03 | 407,01 |

| CABO BITOLA 150 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|-------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1610 | 0,15952 | 0,16026 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1300 | 0,13129 | 0,13065 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 9335 | 8523 | 8929,00 | 11,22 | 268,14 | 5,02 | 119,92 | 3,55 | 84,79 |

| CABO BITOLA 185 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1300 | 0,12817 | 0,12909 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1260 | 0,12839 | 0,12720 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 8613 | 7925 | 8269,00 | 15,71 | 375,39 | 7,02 | 167,88 | 4,97 | 118,71 |

| CABO BITOLA 240 mm ² | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|-----------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,1000 | 0,09866 | 0,09933 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1200 | 0,12327 | 0,12164 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 7665 | 7135 | 7400,00 | 22,44 | 536,28 | 10,03 | 239,83 | 7,09 | 169,59 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 8,7/15 kV, ISOLAMENTO EM PLIETILENO RETICULADO XLPE
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO TENSÃO PRIMÁRIA 13,8 kV.

| CABO BITOLA 300 mm ² | | | | SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,0820 | 0,07995 | 0,08098 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1170 | 0,11861 | 0,11781 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 7024 | 6525 | 6774,50 | 31,41 | 750,79 | 14,05 | 335,76 | 9,93 | 237,42 |

| CABO BITOLA 400 mm ² | | | | SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,0660 | 0,0643 | 0,06515 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1130 | 0,11439 | 0,11370 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 6449 | 5822 | 6135,50 | 42,63 | 1018,93 | 19,06 | 455,68 | 13,48 | 322,21 |

| CABO BITOLA 500 mm ² | | | | SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | | | | |
|---------------------------------|--------|---------|-------------|------------------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| Marca Comercial | A | B | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | | | | |
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,0540 | 0,05260 | 0,05330 | t = 0,1 | | t = 0,5 | | t = 1 | |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,1100 | 0,11130 | 0,11065 | kA | MVA | kA | MVA | kA | MVA |
| Reatância Capacitiva Ω/km | 5882 | 5323 | 5602,50 | 53,85 | 1287,07 | 24,08 | 575,59 | 17,03 | 407,01 |

**PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM CLORETO DE POLIVINILA PVC
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO**

CABO BITOLA 2,5mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 8,747 | 8,866 | 8,866 | 8,870 | 8,83718 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,148 | 0,151 | 0,147 | 0,150 | 0,14898 | kA 0,90 | kA 0,40 | kA 0,29 |

CABO BITOLA 4 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 5,467 | 5,516 | 5,516 | 5,520 | 5,50463 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,145 | 0,147 | 0,144 | 0,140 | 0,14410 | kA 1,44 | kA 0,65 | kA 0,46 |

CABO BITOLA 6 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 3,610 | 3,685 | 3,685 | 3,690 | 3,66760 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,135 | 0,139 | 0,134 | 0,130 | 0,13438 | kA 2,16 | kA 0,97 | kA 0,68 |

CABO BITOLA 10 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 2,145 | 2,189 | 2,190 | 2,190 | 2,17853 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,128 | 0,125 | 0,123 | 0,130 | 0,12648 | kA 3,61 | kA 1,61 | kA 1,14 |

CABO BITOLA 16 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 1,341 | 1,760 | 1,376 | 1,380 | 1,46430 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,120 | 0,115 | 0,117 | 0,120 | 0,11808 | kA 5,77 | kA 2,58 | kA 1,82 |

CABO BITOLA 25 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,858 | 0,870 | 0,870 | 0,870 | 0,86715 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,117 | 0,114 | 0,114 | 0,120 | 0,11628 | kA 9,02 | kA 4,03 | kA 2,85 |

CABO BITOLA 35 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,613 | 0,627 | 0,628 | 0,630 | 0,62448 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,112 | 0,109 | 0,109 | 0,110 | 0,10993 | kA 12,62 | kA 5,65 | kA 3,99 |

CABO BITOLA 50 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,430 | 0,464 | 0,464 | 0,470 | 0,45685 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,110 | 0,108 | 0,109 | 0,110 | 0,10928 | kA 18,03 | kA 8,06 | kA 5,70 |

CABO BITOLA 70 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,307 | 0,322 | 0,322 | 0,320 | 0,31778 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,106 | 0,103 | 0,103 | 0,110 | 0,10553 | kA 25,25 | kA 11,29 | kA 7,98 |

**PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM CLORETO DE POLIVINILA PVC
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO**

| CABO BITOLA 95 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,227 | 0,232 | 0,233 | 0,230 | 0,23043 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,104 | 0,102 | 0,102 | 0,100 | 0,10193 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 34,26 | 15,32 | 10,83 |

| CABO BITOLA 120 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,181 | 0,185 | 0,185 | 0,190 | 0,18515 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,101 | 0,100 | 0,099 | 0,100 | 0,09997 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 43,28 | 19,36 | 7,98 |

| CABO BITOLA 150 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,145 | 0,151 | 0,151 | 0,150 | 0,14928 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,101 | 0,100 | 0,099 | 0,100 | 0,09999 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 54,10 | 24,19 | 17,11 |

| CABO BITOLA 185 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,119 | 0,122 | 0,122 | 0,120 | 0,12060 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,101 | 0,099 | 0,098 | 0,094 | 0,09811 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 66,72 | 29,84 | 21,10 |

| CABO BITOLA 240 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,093 | 0,094 | 0,094 | 0,094 | 0,09383 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,100 | 0,096 | 0,097 | 0,098 | 0,09766 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 86,56 | 38,71 | 27,37 |

| CABO BITOLA 300 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,076 | 0,077 | 0,077 | 0,078 | 0,07698 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,099 | 0,095 | 0,096 | 0,097 | 0,09672 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 108,20 | 48,39 | 34,22 |

| CABO BITOLA 400 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,060 | 0,063 | 0,063 | 0,063 | 0,06203 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,097 | 0,094 | 0,095 | 0,096 | 0,09546 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 144,27 | 64,52 | 45,62 |

| CABO BITOLA 500 mm ² | | | | | | SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------------------------|---------|-------|
| Marca Comercial | A | B | C | D | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
| Resistência c.a. 70° C Ω/km | 0,050 | 0,052 | 0,052 | 0,052 | 0,05143 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,096 | 0,063 | 0,094 | 0,095 | 0,08697 | kA | kA | kA |
| | | | | | | 180,33 | 80,65 | 57,03 |

**PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM BORRACHA ETILENO PROPILENO EPR
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO**

CABO BITOLA 2,5mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 9,640 | 8,870 | 9,448 | 9,449 | 9,449 | 9,37096 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,152 | 0,150 | 0,153 | 0,152 | 0,152 | 0,15180 | kA 1,12 | kA 0,50 | kA 0,35 |

CABO BITOLA 4 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 5,993 | 5,520 | 5,878 | 5,878 | 5,878 | 5,82948 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,141 | 0,140 | 0,143 | 0,144 | 0,144 | 0,14240 | kA 1,79 | kA 0,80 | kA 0,57 |

CABO BITOLA 6 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 3,966 | 3,690 | 3,927 | 3,927 | 3,927 | 3,88748 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,137 | 0,130 | 0,134 | 0,136 | 0,136 | 0,13460 | kA 2,69 | kA 1,20 | kA 0,85 |

CABO BITOLA 10 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 2,334 | 2,190 | 2,333 | 2,334 | 2,334 | 2,30470 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,124 | 0,130 | 0,126 | 0,126 | 0,126 | 0,12640 | kA 4,49 | kA 2,01 | kA 1,42 |

CABO BITOLA 16 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 1,467 | 1,380 | 1,466 | 1,467 | 1,467 | 1,44916 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,116 | 0,120 | 0,117 | 0,117 | 0,117 | 0,11740 | kA 7,18 | kA 3,21 | kA 2,27 |

CABO BITOLA 25 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,927 | 0,870 | 0,927 | 0,927 | 0,927 | 0,91578 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,115 | 0,120 | 0,115 | 0,114 | 0,114 | 0,11560 | kA 11,22 | kA 5,02 | kA 3,55 |

CABO BITOLA 35 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,669 | 0,630 | 0,669 | 0,669 | 0,669 | 0,66096 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,109 | 0,110 | 0,110 | 0,109 | 0,109 | 0,10940 | kA 15,71 | kA 7,02 | kA 4,97 |

CABO BITOLA 50 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,494 | 0,470 | 0,494 | 0,494 | 0,494 | 0,48926 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,106 | 0,110 | 0,109 | 0,109 | 0,109 | 0,10860 | kA 22,44 | kA 10,03 | kA 7,09 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM BORRACHA ETILENO PROPILENO EPR
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO

CABO BITOLA 70 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,343 | 0,320 | 0,343 | 0,343 | 0,343 | 0,33822 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,104 | 0,100 | 0,107 | 0,103 | 0,103 | 0,10340 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 31,41 | 14,05 | 9,93 |

CABO BITOLA 95 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,248 | 0,230 | 0,247 | 0,248 | 0,248 | 0,24390 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,101 | 0,100 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,10140 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 42,63 | 19,06 | 13,48 |

CABO BITOLA 120 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,197 | 0,190 | 0,197 | 0,197 | 0,197 | 0,19560 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,099 | 0,100 | 0,099 | 0,099 | 0,099 | 0,09920 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 53,85 | 24,08 | 17,03 |

CABO BITOLA 150 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,161 | 0,150 | 0,160 | 0,160 | 0,160 | 0,15826 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,098 | 0,100 | 0,099 | 0,099 | 0,099 | 0,09900 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 67,31 | 30,10 | 21,28 |

CABO BITOLA 185 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,129 | 0,120 | 0,129 | 0,129 | 0,129 | 0,12738 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,097 | 0,094 | 0,098 | 0,098 | 0,098 | 0,09700 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 83,01 | 37,13 | 26,25 |

CABO BITOLA 240 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,100 | 0,099 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,09982 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,096 | 0,098 | 0,097 | 0,097 | 0,097 | 0,09700 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 107,69 | 48,16 | 34,06 |

CABO BITOLA 300 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,082 | 0,078 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,08074 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,096 | 0,097 | 0,096 | 0,096 | 0,096 | 0,09616 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 134,62 | 60,20 | 42,57 |

CABO BITOLA 400 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,066 | 0,063 | 0,066 | 0,066 | 0,066 | 0,06542 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,094 | 0,093 | 0,095 | 0,095 | 0,095 | 0,09440 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | 179,49 | 80,27 | 56,76 |

**PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM BORRACHA ETILENO PROPILENO EPR
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO**

CABO BITOLA 500 mm²

SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,054 | 0,052 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,05374 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,094 | 0,095 | 0,094 | 0,094 | 0,094 | 0,09416 | kA 224,36 | kA 100,34 | kA 70,95 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM POLIETILENO RETICULADO XLPE
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO

CABO BITOLA 2,5mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 9,640 | 8,870 | 9,328 | 9,328 | 9,448 | 9,449 | 9,34378 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,152 | 0,150 | 0,154 | 0,132 | 0,144 | 0,152 | 0,14733 | kA 1,12 | kA 0,50 | kA 0,35 |

CABO BITOLA 4 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 5,993 | 5,520 | 5,830 | 5,830 | 5,878 | 5,878 | 5,82160 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,141 | 0,140 | 0,145 | 0,123 | 0,136 | 0,144 | 0,13817 | kA 1,79 | kA 0,80 | kA 0,57 |

CABO BITOLA 6 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 3,966 | 3,690 | 3,850 | 3,850 | 3,927 | 3,927 | 3,86817 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,137 | 0,130 | 0,135 | 0,117 | 0,128 | 0,136 | 0,13050 | kA 2,69 | kA 1,20 | kA 0,85 |

CABO BITOLA 10 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 2,346 | 2,190 | 2,286 | 2,286 | 2,333 | 2,334 | 2,29593 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,124 | 0,130 | 0,129 | 0,121 | 0,120 | 0,126 | 0,12500 | kA 4,49 | kA 2,01 | kA 1,42 |

CABO BITOLA 16 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 1,479 | 1,380 | 1,429 | 1,429 | 1,466 | 1,467 | 1,44168 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,116 | 0,120 | 0,120 | 0,114 | 0,112 | 0,117 | 0,11650 | kA 7,18 | kA 3,21 | kA 2,27 |

CABO BITOLA 25 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,936 | 0,870 | 0,915 | 0,915 | 0,927 | 0,927 | 0,91502 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,115 | 0,120 | 0,117 | 0,107 | 0,110 | 0,114 | 0,11383 | kA 11,22 | kA 5,02 | kA 3,55 |

CABO BITOLA 35 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,675 | 0,630 | 0,654 | 0,654 | 0,669 | 0,669 | 0,65832 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,109 | 0,110 | 0,112 | 0,103 | 0,105 | 0,109 | 0,10800 | kA 15,71 | kA 7,02 | kA 4,97 |

PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM POLIETILENO RETICULADO XLPE
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO

CABO BITOLA 50 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,499 | 0,470 | 0,458 | 0,458 | 0,494 | 0,494 | 0,47885 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,107 | 0,110 | 0,110 | 0,103 | 0,104 | 0,109 | 0,10717 | kA 22,44 | kA 10,03 | kA 7,09 |

CABO BITOLA 70 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,342 | 0,320 | 0,328 | 0,328 | 0,343 | 0,343 | 0,33382 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,104 | 0,100 | 0,106 | 0,100 | 0,100 | 0,103 | 0,10217 | kA 31,41 | kA 14,05 | kA 9,93 |

CABO BITOLA 95 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,250 | 0,230 | 0,242 | 0,242 | 0,248 | 0,248 | 0,24330 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,101 | 0,100 | 0,104 | 0,097 | 0,098 | 0,100 | 0,10000 | kA 42,63 | kA 19,06 | kA 13,48 |

CABO BITOLA 120 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,198 | 0,190 | 0,192 | 0,192 | 0,197 | 0,197 | 0,19448 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,100 | 0,100 | 0,102 | 0,098 | 0,096 | 0,098 | 0,09900 | kA 53,85 | kA 24,08 | kA 9,93 |

CABO BITOLA 150 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,163 | 0,150 | 0,155 | 0,155 | 0,160 | 0,161 | 0,15712 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,099 | 0,100 | 0,101 | 0,096 | 0,096 | 0,098 | 0,09833 | kA 67,31 | kA 30,10 | kA 21,28 |

CABO BITOLA 185 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,130 | 0,120 | 0,127 | 0,127 | 0,129 | 0,130 | 0,12697 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,098 | 0,094 | 0,101 | 0,094 | 0,096 | 0,095 | 0,09630 | kA 83,01 | kA 37,13 | kA 26,25 |

CABO BITOLA 240 mm²

SUPPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,101 | 0,094 | 0,099 | 0,099 | 0,100 | 0,100 | 0,09882 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,098 | 0,098 | 0,100 | 0,091 | 0,094 | 0,093 | 0,09567 | kA 107,69 | kA 48,16 | kA 34,06 |

**PARÂMETROS CABOS CLASSE 0,6/1 kV ISOLAMENTO EM POLIETILENO RETICULADO XLPE
CABOS SINGELOS CONDUTOR DE COBRE EM TRIFÓLIO**

CABO BITOLA 300 mm²

SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,082 | 0,078 | 0,081 | 0,081 | 0,082 | 0,082 | 0,08088 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,096 | 0,097 | 0,099 | 0,092 | 0,092 | 0,093 | 0,09483 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | | 134,62 | 60,20 | 42,57 |

CABO BITOLA 400 mm²

SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,068 | 0,063 | 0,063 | 0,063 | 0,066 | 0,066 | 0,06500 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,095 | 0,096 | 0,097 | 0,090 | 0,092 | 0,092 | 0,09367 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | | 179,49 | 80,27 | 56,76 |

CABO BITOLA 500 mm²

SUPORTABILIDADE AO CURTO CIRCUITO

| Marca Comercial | A | B | C | D | E | F | VALOR MÉDIO | Tempo(seg) | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|------------|---------|-------|
| Resistência c.a. 90° C Ω/km | 0,055 | 0,052 | 0,053 | 0,053 | 0,055 | 0,055 | 0,05373 | t = 0,1 | t = 0,5 | t = 1 |
| Reatância Indutiva Ω/km | 0,094 | 0,095 | 0,096 | 0,088 | 0,091 | 0,091 | 0,09250 | kA | kA | kA |
| | | | | | | | | 224,36 | 100,34 | 70,95 |

Valores para Transformadores Classe 15 kV 13.2/0.22 kV isolados em óleo mineral

Norma ABNT NBR 5440

| Potência Aparente | 15 kVA | 30 kVA | 45 kVA | 75 kVA | 112.5 kVA | 150 kVA | 225 kVA | 300 kVA |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Corrente em vazio $I_0\%$ | 5% | 4,3% | 3,9% | 3,4% | 3,1% | 2,9% | 2,6% | 2,4% |
| Corrente excitação I_e | 0.033 A | 0.056 A | 0.077 A | 0.112 A | 0.153 A | 0.19 A | 0.256 A | 0.315 A |
| Perdas em Vazio P_0 | 120 W | 200 W | 260 W | 390 W | 520 W | 640 W | 900 W | 1120 W |
| Perdas em Carga P_c | 340 W | 570 W | 780 W | 1140 W | 1550 W | 1910 W | 2700 W | 3360 W |
| Perdas Totais P_t | 460 W | 770 W | 1040 W | 1530 W | 2070 W | 2550 W | 3600 W | 4480 W |
| Fator de Potência em vazio | 0,16 | 0,155 | 0,148 | 0,153 | 0,149 | 0,147 | 0,154 | 0,156 |
| Tensão de curto circuito V_{cc} | 462 V | 462 V | 462 V | 462 V | 462 V | 462 V | 594 V | 594 V |
| Corrente Primária I_p | 0.656 A | 1.312 A | 1.968 A | 3.28 A | 4.921 A | 6.561 A | 9.841 A | 13.122 A |
| Corrente Secundária I_s | 39.365 A | 78.73 A | 118.094 A | 196.824 A | 295.236 A | 393.648 A | 590.472 A | 787.296 A |
| Resistência ôhmica | 263.296 Ω | 110.352 Ω | 67.115 Ω | 35.313 Ω | 21.339 Ω | 14.791 Ω | 9.293 Ω | 6.505 Ω |
| Resistência em p.u. | 0,02267 | 0,019 | 0,01733 | 0,0152 | 0,013778 | 0,012733 | 0,012 | 0,0112 |
| Resistência em % | 2.267% | 1,90% | 1.733% | 1,52% | 1.378% | 1.2733% | 1,20% | 1,12% |
| Reatância ôhmica | 309.784 Ω | 170.72 Ω | 117.734 Ω | 73.244 Ω | 49.831 Ω | 37.87 Ω | 33.586 Ω | 25.314 Ω |
| Reatância em p.u. | 0,02667 | 0,02939 | 0,03041 | 0,03153 | 0,03217 | 0,0326 | 0,04337 | 0,04358 |
| Reatância em % | 2.667% | 2.939% | 3.041% | 3.153% | 3.217% | 3,26% | 4.337% | 4.358% |
| Impedância ôhmica 75°C | 406.56 Ω | 203.28 Ω | 135.52 Ω | 81.312 Ω | 54.208 Ω | 40.656 Ω | 34.848 Ω | 26.136 Ω |
| Impedância em p.u. | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,045 | 0,045 |
| Impedância em% | 3,50% | 3,50% | 3,50% | 3,50% | 3,50% | 3,50% | 4,50% | 4,50% |
| Argumento da Impedância ϕ | 49.638° | 57.122° | 60.315° | 64.26° | 66.818° | 68,666° | 74.534° | 75.588° |
| Relação X/R- $\tan\phi$ | 1.177 | 1.547 | 1.754 | 2.074 | 2.335 | 2,56 | 3.614 | 3.891 |

Valores para Transformadores Secos Classe 15 kV 13.2/0.22 kV

| Potência Aparente | 15 kVA | 30 kVA | 45 kVA | 75 kVA | 112.5 kVA | 150 kVA | 225 kVA | 300 kVA |
|-----------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Corrente em vazio $I_0\%$ | 5% | 4,3% | 3,9% | 3,4% | 3,1% | 2,9% | 2,6% | 2,4% |
| Corrente excitação I_e | 0.033 A | 0.056 A | 0.077 A | 0.112 A | 0.153 A | 0.19 A | 0.256 A | 0.315 A |
| Perdas em Vazio P_0 | 120 W | 200 W | 260 W | 390 W | 520 W | 640 W | 900 W | 1120 W |
| Perdas em Carga P_c | 384 W | 644 W | 881 W | 1277 W | 1751 W | 1910 W | 3049 W | 3795 W |
| Perdas Totais P_t | 504 W | 844 W | 1141 W | 1667 W | 2271 W | 2797 W | 3949 W | 4915 W |
| Fator de Potência em vazio | 0,16 | 0,155 | 0,148 | 0,153 | 0,149 | 0,147 | 0,154 | 0,156 |
| Tensão de curto-circuito V_{cc} | 481.80 V | 481.80 V | 481.80 V | 481.80 V | 481.80 V | 481.80 V | 613.80 V | 613.80 V |
| Corrente Primária I_p | 0.656 A | 1.312 A | 1.968 A | 3.28 A | 4.921 A | 6.561 A | 9.841 A | 13.122 A |
| Corrente Secundária I_s | 39.365 A | 78.73 A | 118.094 A | 196.824 A | 295.236 A | 393.648 A | 590.472 A | 787.296 A |
| Resistência ôhmica | 297.37 Ω | 124.678 Ω | 75.805 Ω | 39.866 Ω | 24.106 Ω | 16.704 Ω | 10.494 Ω | 7.347 Ω |
| Resistência em p.u. | 0,0256 | 0,021467 | 0,019578 | 0,01716 | 0,015564 | 0,01438 | 0,013551 | 0,01265 |
| Resistência em % | 2.56% | 2.14679% | 1.9578% | 1.716% | 1.5564% | 1.438% | 1.3551% | 1.1265% |
| Reatância ôhmica | 302.215 Ω | 171.452 Ω | 119.278 Ω | 74.841 Ω | 51.134 Ω | 38.969 Ω | 34.447 Ω | 25.989 Ω |
| Reatância em p.u. | 0,02602 | 0,02952 | 0,03081 | 0,03221 | 0,03302 | 0,03355 | 0,04448 | 0,04475 |
| Reatância em % | 2.602% | 2.952% | 3.081% | 3.221% | 3.217% | 3.355% | 4.448% | 4.475% |
| Impedância ôhmica 115°C | 423.984 Ω | 211.992 Ω | 141.328 Ω | 84.797 Ω | 56.531 Ω | 42.398 Ω | 36.01 Ω | 27.007 Ω |
| Impedância em p.u. | 0,0365 | 0,0365 | 0,0365 | 0,0365 | 0,0365 | 0,0365 | 0,0465 | 0,0465 |
| Impedância em% | 3,65% | 3,65% | 3,65% | 3,65% | 3,65% | 3,65% | 4,65% | 4,65% |
| Argumento da Impedância ϕ | 45.463° | 53.976° | 57.563° | 61.957° | 64.749° | 66,768° | 73.057° | 74.214° |
| Relação X/R- $\tan\phi$ | 1.016 | 1.375 | 1.573 | 1.877 | 2.121 | 2.333 | 3.283 | 3.537 |