

Concepção dos Sistemas Elétricos Destinados à Instalações de Saneamento

Eng.º PAULO ANTONIO AZZE (*)

1. INTRODUÇÃO

Muito se tem comentado a respeito de um adequado planejamento dos itens constantes de um sistema de saneamento básico, porém, pouco sobre a importância do planejamento de suas respectivas instalações elétricas. Item este de fundamental importância, pois o correto desempenho dos equipamentos eletromecânicos, depende basicamente do correspondente desempenho das instalações elétricas. Assim, mesmo que se tenha planejado com cuidado aqueles itens, na maioria dos casos, tem-se descuidado do sistema elétrico respectivo, o que pode vir a comprometer todo o trabalho anterior. Isto porque, é regra básica no planejamento que o mesmo deve ser feito de forma global, ou os problemas devem ser equacionados e resolvidos por inteiro, enquadrando-se no contexto geral.

O presente trabalho visa contribuir para o correto planejamento dos sistemas elétricos, destinados às instalações eletromecânicas dos sistemas de saneamento, com enfoque especial na sua concepção e não na definição dos seus detalhes, mais pertinentes ao projeto executivo propriamente dito. Outrossim, procurou-se abordar o assunto numa linguagem acessível, para um entendimento melhor, inclusive de técnicos de outras áreas que não a especializada.

A concepção de um sistema elétrico, nos termos citados, nada mais é do que o seu diagrama unifilar, que é a representação de como são interligados os vários componentes do sistema. É unifilar porque as várias fases dos circuitos são representadas por somente uma delas. Assim,

num circuito trifásico, os condutores são representados por apenas uma delas. O objetivo do diagrama é fornecer de forma consisa, as mais significativas informações sobre o sistema. Portanto, em última análise, este trabalho visa fornecer elementos para a elaboração correta e racional do diagrama unifilar das instalações elétricas destinadas aos sistemas de saneamento básico.

2. QUALIDADES BÁSICAS DE UM SISTEMA ELÉTRICO

Conforme visto anteriormente, o desempenho do sistema como um todo, depende basicamente do correto desempenho do seu respectivo sistema elétrico. Consequentemente, este deve apresentar certas qualidades básicas de modo a que o desempenho almejado no todo seja atingido. Destas, uma das mais importantes é a confiabilidade, definida como "a capacidade de sustentar toda a sua carga, seja em condições normais, seja durante emergências, bem como suportar condições que venham a ocorrer, tais como descargas atmosféricas e curtos circuitos". Desta definição, verifica-se duas características marcantes na confiabilidade:

a) a capacidade de manter a integridade do sistema, ou seja, que o material e o equipamento suporte as condições estabelecidas. Assim, por exemplo, um disjuntor com capacidade de interrupção inferior aquela da corrente de curto circuito no ponto onde será aplicado, não é confiável, pois será irremediavelmente danificado na ocorrência de um curto circuito, comprometendo todo o sistema.

b) a capacidade de permitir a continuidade do funcionamento do sistema nas condições anormais. Assim deve permitir o isolamento de um defeito num ponto do sistema sem re-

sultar no desligamento total do mesmo, ou que o arranjo dos vários componentes permita caminhos alternativos para manter a carga ou parte da mesma. Por exemplo, desligue um conjunto motor-bomba de um barramento sem desligar os demais a ele ligados.

Esta última característica diz respeito à flexibilidade do sistema. Assim, verifica-se que nenhum sistema é realmente confiável se não tiver um adequado grau de flexibilidade. No exemplo citado, de nada adianta prever-se revesamento automático por defeito, ou maior flexibilidade, pois se o barramento for desenergizado, o conjunto de reserva não poderá substituir aquele com defeito.

Consequentemente, pelo fato de um sistema ser flexível, não quer dizer que o mesmo seja necessariamente confiável.

Por outro lado, o sistema elétrico tem que ser compatível em custo com a importância da continuidade do serviço a que se destina. Embora nenhum sistema elétrico possa ser totalmente imune a falhas, grandes graus de confiabilidade podem ser obtidos a custos elevados. Assim, deve haver um equilíbrio entre estes e o valor ou importância do melhor desempenho do sistema. Ressalte-se no entanto que o aumento de confiabilidade pode ser obtido dentro de determinados limites, por comparativamente pequenos aumentos de custos, pelo uso de um bom projeto, correta construção e adequada operação. Isto apesar de que, dentro de padrões elevados, os custos para aumentar a confiabilidade crescerem rapidamente em proporção aos ganhos. A regra geral, no caso, é simplificação ao invés de extrema flexibilidade e duplicação de equipamentos e circuitos, geralmente resultando com este procedimento um aumento de confiabilidade com diminuição dos custos.

(*) Engenheiro Eletricista do Departamento Eletromecânico — Diretoria de Construção da SABESP.

Aqui aparece outra qualidade ligada a flexibilidade que é a simplicidade, pois além do exposto, um sistema simples é fácil de instalar, operar e entender. Por exemplo, durante as operações de emergência, a fim de evitar que a situação seja agravada devido a erros de operação. Este fator é de vital importância nas instalações onde não há disponibilidade de recursos, seja humanos, seja materiais, seja monetários, como são as localidades do interior.

Assim, apesar das qualidades parecerem conflitantes, a função do projetista, consiste exatamente em buscar uma solução que compatibilize os custos com as qualidades técnicas citadas, o que pode-se conseguir através de um planejamento adequado.

3. PLANEJAMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO

No planejamento de um sistema elétrico, existem muitos fatores que devem ser considerados para se conseguir as qualidades básicas citadas anteriormente, não existindo normalmente uma ordem sequencial para tais fatores e ao mesmo tempo seu grau de importância pode variar de instalação para instalação.

O planejamento inicia-se usualmente, buscando-se traçar desde logo o seu diagrama unifilar e procurando-se definir cada um de seus elementos. No entanto, já na sua elaboração, é preciso ter-se em conta as qualidades citadas anteriormente, pois o mesmo irá refleti-las e são os principais fatores a serem considerados nesta etapa do planejamento do sistema que aqui serão abordados.

Na definição de confiabilidade está implícito que os elementos do sistema devem ser dimensionados para duas condições, ou seja, normais e anormais. No entanto, nos critérios de dimensionamento para as últimas, estão implícitas aquelas referentes às primárias. Portanto, verifica-se a preocupação de enfatizar estas condições anormais, ainda mais que os critérios para as condições normais, além de sobejamente conhecidos, não acarretam maiores problemas. Assim enfoca-se a seguir os problemas devido as condições anormais.

Constata-se que a maior parte dos problemas que causam falhas ou interrupções em um sistema elétrico e consequentemente influem na sua confiabilidade, tem suas origens nos seguintes fatores principais:

- sistema com arranjo inadequado.
- dispositivos de proteção imprópriamente selecionados e mal dimensionados.

Assim, conclui-se que a confiabilidade de um sistema depende de:

- uso de equipamento adequado.
- arranjo e dimensionamento con-

veniente dos dispositivos de proteção e respectivos circuitos.

Esta última condição está intimamente ligada a flexibilidade no conceito geral de confiabilidade. Conforme já exposto anteriormente, flexível no caso, não significa simplesmente a duplicação dos elementos, como bombas de reserva. Faz-se necessário também que o sistema seja seletivo, isto é, desligue uma parte com defeito sem afetar as demais. Por exemplo, desligue o ramal defeituoso de um conjunto motor bomba, porém não desligue os demais em funcionamento.

Este aspecto do problema, ou seja, a seletividade, é o fator preponderante que se pretende enfatizar neste trabalho, visto estar sendo relegado a um segundo plano, isto quando é levado em conta, pela maioria dos projetos elétricos destinados as instalações de saneamento básico. No entanto, é de fundamental importância na determinação do diagrama unifilar, ou seja, na concepção do sistema. Tanto sob o aspecto da confiabilidade do mesmo, quanto no que se refere aos custos, pois um sistema seletivo invariavelmente leva a uma apreciável economia, conforme se verá posteriormente. Assim este aspecto será objeto a seguir de uma análise mais detalhada.

4. ESTUDOS DE SELETIVIDADE

A função de eliminar as partes defeituosas dos sistemas elétricos, competem aos dispositivos de proteção. Sua determinação envolve dois aspectos separados, embora inter-relacionados entre si, quais sejam:

- a seleção dos dispositivos corretamente

- a seleção das características de atuação dos dispositivos que permitem aos mesmos funcionarem seletivamente com outros dispositivos de forma a desligar a parte do sistema com defeito.

Este último aspecto, refere-se à coordenação das proteções ou seja, normalmente há dois ou mais dispositivos entre uma falha e a fonte. Assim, estes devem localizar o mais precisamente possível o ponto de anormalidade e serem seletivos na operação de tal forma que, o mais próximo da falha em relação a fonte, tenha chance de operar primeiro. Porém, se por alguma razão ele falhar, o próximo na seqüência deve substituí-lo nesta função e assim sucessivamente. Portanto, no exemplo citado anteriormente, no caso de uma falha no ramal, o seu dispositivo deve operar primeiro que aquele do alimentador, em outras palavras, atuar num tempo inferior.

Os tempos de atuação são definidos pelas características de atuação, ou seja, os tempos de atuação em

função das correntes de falta. Assim, seleciona-se estes dispositivos pela escolha adequada de suas características de atuação, aumentando-se sucessivamente seus tempos de atuação a partir do ponto mais remoto do sistema eventualmente em falta.

Ressalte-se aqui, que outro ponto importante a ser observado na seleção destes dispositivos, é evitar um número excessivo deles em série. Isto devido ao aumento sucessivo dos seus tempos de atuação que pode acarretar o sobredimensionamento dos elementos do sistema, principalmente dos cabos. Note-se que, estes devem suportar as correntes de falta no tempo de atuação do seu respectivo dispositivo.

Por outro lado, os dispositivos devem distinguir entre as correntes de falta e de picos permissíveis, tais como as correntes de partida dos motores, de forma a não operarem indevidamente.

Resumindo, os dispositivos devem ser selecionados para:

- operar na mínima corrente que a eles sejam permitidos distinguir entre as correntes de falta e de pico permissíveis,

- funcionarem no mínimo tempo possível,

- serem seletivos com outros dispositivos em série com eles,

- suportarem as correntes máximas de falta, nos seus tempos de atuação.

A seleção correta destes dispositivos e demais elementos do sistema, somente é possível, evidentemente, pelo conhecimento das correntes de falta. Portanto, inicialmente deve-se determinar as mesmas e após selecionar os dispositivos levando em consideração o aspectos citados de coordenação e seletividade. Os estudos que se efetuam para atingir estes objetivos, são denominados: Estudos de Seletividade.

5. CONCLUSÃO

Conforme se depreende do exposto anteriormente, para obter-se a confiabilidade adequada, faz-se necessário estudos de curto circuito e de seletividade. Ora, para tanto, é necessário dispor do diagrama unifilar. Conseqüentemente o que se propõe é um estudo iterativo do diagrama unifilar. Com esta finalidade, parte-se de um diagrama unifilar inicial, no qual procura-se dar um determinado grau de flexibilidade. Para tanto, analisa-se o sistema na sua totalidade, desde a fonte até as cargas, procurando-se pontos fracos. Assim, no diagrama inicial, supõe-se falhas em cada equipamento ou circuito, verificando-se qual parte do sistema seria desligada sem afetar as demais. Caso necessário, modifica-se o diagrama até obter-se uma flexibilidade adequada.

Posteriormente desenvolvem-se os estudos de seletividade, que poderão vir a alterar a configuração daquele diagrama inicial. Neste caso, adapta-se os estudos, até chegar-se ao diagrama unifilar definitivo, sempre verificando a flexibilidade conforme exposto acima.

Nestes estudos, deve-se levar em consideração os fatores socio-econômicos, pois os dispositivos de proteção selecionados devem ser compatíveis com a localização e a importância da instalação. Aspectos operacionais devem também serem levados em conta, tais como, disponibilidade de operadores capacitados e de equipamentos de reposição, bem como padronização ou compatibilização com outras instalações existentes ou projetadas. Aqui entra a experiência do projetista e sua habilidade em buscar uma solução que compatibilize estes aspectos com as qualidades técnicas. A este respeito, verifica-se que o estudo de seletividade é um método racional de obter-se a compatibilização, reduzindo-se os custos. Por exemplo:

- evita sobreposições desnecessárias de proteções, portanto reduz os dispositivos de proteção aos mínimos necessários;
- permite redução das bitolas dos condutores sob o ponto de vista de sua capacidade de curto circuito;
- conduz a simplificação do sistema elétrico, decorrente da redução das proteções e do arranjo do sistema, portanto reduz os custos de operação e manutenção.

6. ANÁLISE DE UM CASO PRÁTICO

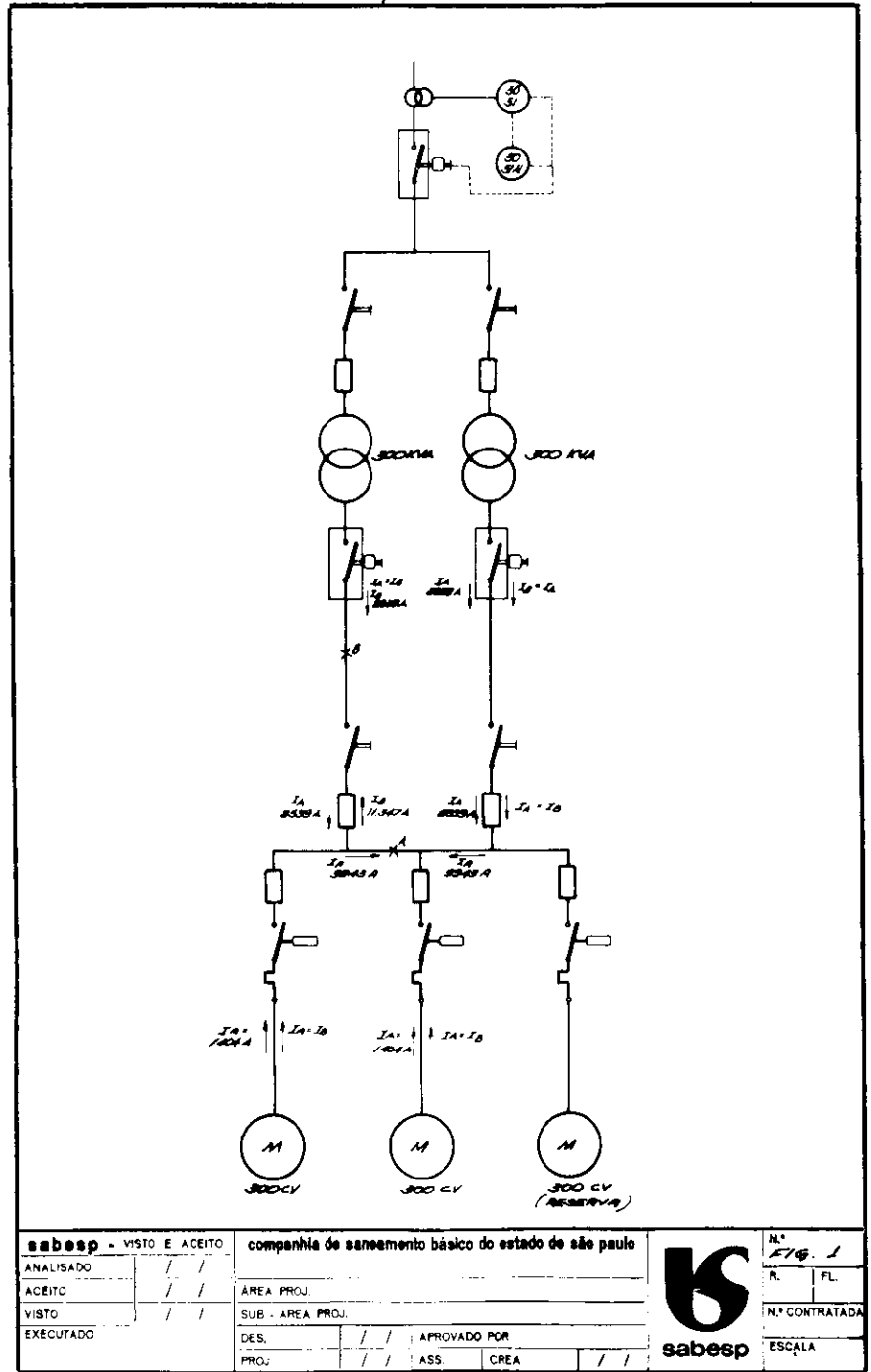
Para melhor esclarecer os pontos citados, é dado a seguir um exemplo.

Seja determinar o diagrama unifilar de uma elevatória com três conjuntos motor bomba sendo um de reserva. Os elementos são:

- Suprimento de energia no local:
 - tensão disponível 13,2Kv/3Ø/60Hz
 - capacidade de curto circuito no ponto de entrega 100 MVA/13,2 Kv
- Características dos motores:
 - potência 300 CV
 - tensão 440 V/3Ø/60 Hz
 - corrente nominal 351 A
 - corrente de partida 1404 A
 - tempo de aceleração 2 seg
 - tempo de rotor bloqueado ... 15 seg
- Sistema de partida:
 - a plena tensão por chave magnética.

Inicialmente, para efeito de comparação, indica-se na figura 1, o diagrama unifilar usualmente apresentado para esta instalação pela maioria dos projetos.

Note-se que foram previstos dois transformadores para maior flexibili-



CONCEPÇÃO

dade, assim no caso de desligar-se um, a instalação ainda pode funcionar a meia carga. Por outro lado, implementa o fator de potência no caso de somente um motor estar funcionando, ou seja, desligando-se um transformador.

No entanto, o sistema não é flexível sob o aspecto de confiabilidade abordado anteriormente. Uma vez que, para um curto no barramento do quadro de BT, ponto "A" da figura 1, as correntes de curto nos fusíveis dos alimentadores são iguais, provocando sua fusão simultânea e desenergizando todos os motores.

No caso de curto num dos alimentadores, ponto "B", o mesmo ocorreria, pois dificilmente poder-se-ia obter alguma seletividade. Mesmo considerando-se as correntes diferentes devido a contribuição dos motores.

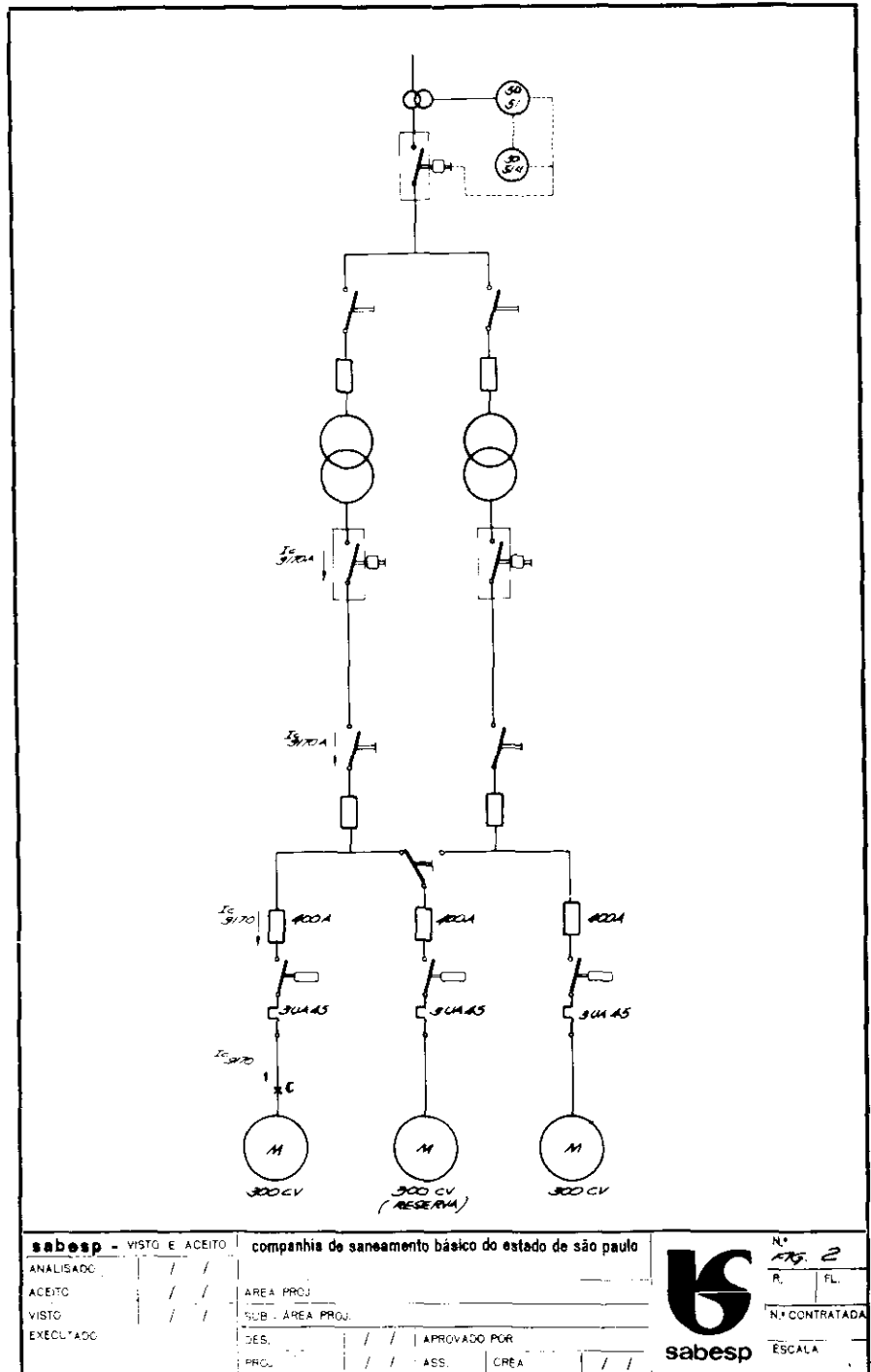
Seria necessário que a diferença dos tempos de atuação devido as correntes, fosse superior a 0,2 seg. tempo mínimo para obter-se seletividade entre fusíveis. As correntes indicadas na figura, correspondem a curtos circuitos trifásicos. Isto se deve ao fato de ser esta a condição mais crítica. É regra na seletividade que, se os dispositivos são seletivos nesta condição, certamente serão nas demais.

No entanto, examinando-se o diagrama unifilar apresentado, pode-se abrir o barramento secundário. Como são três motores e é necessário equilibrar-se as cargas, prevê-se uma chave reversora para o terceiro motor. Conseqüentemente, este seria o reserva dos demais, pois, na falha de um deles, seria ligado ao barramento correspondente. Desta forma, o sistema fica flexível inclusive sob o ponto de vista da confiabilidade.

O diagrama correspondente é o da figura 2.

Nesta nova configuração, para um curto circuito trifásico no ramal, ponto "C", a corrente que circulará tanto no fusível do ramal quanto nos dispositivos do alimentador é a mesma, vide figura 2. Portanto para o sistema ser seletivo, esta corrente deve fundir primeiro o fusível do ramal; na falha deste, o fusível do alimentador e assim sucessivamente. Aqui inicia-se efetivamente os estudos de seletividade. Para tanto, em folha adequada a esta finalidade, plota-se os dados do motor e seleciona-se os dispositivos do ramal, quais sejam, o relé térmico e os fusíveis.

No dimensionamento destes, é preciso levar em conta que devem permitir a circulação da corrente de partida do motor, bem como proteger o ponto de rotor bloqueado. Verifica-se que o relé térmico 3UA45 da SIEMENS e o fusível NH de 400 A atendem a finalidade.



| | | | | | |
|-------------------------|-------|-------------------------------------------------------|-------|----------------|------|
| sabesp - VISTO E ACEITO | | companhia de saneamento básico do estado de são paulo | | N.º PROJ. 2 | |
| ANALISADO | / / / | AREA PROJ. | | R. | EL. |
| ACEITO | / / / | SUB. AREA PROJ. | | N.º CONTRATADA | |
| VISTO | / / / | DES. | / / / | APROVADO POR | |
| EXECUTADO | / / / | PROJ. | / / / | ASS. | CREA |
| | | | | sabesp ESCALA | |

O próximo equipamento a ser protegido é o transformador. Conseqüentemente, lança-se no gráfico a sua curva térmica e o seu ponto ANSI, vide figura 3, e também a corrente de curto circuito prevista. Os próximos dispositivos de proteção, devem coordenar com aqueles do ramal e ao mesmo tempo proteger o transformador. Portanto suas curvas características devem estar compreendidas entre as curvas dos mesmos, bem como serem seletivas na atuação.

Examinando o diagrama unifilar da figura 2 verifica-se inicialmente que, o disjuntor de BT, protege o transformador de curtos no barramento do quadro e nos cabos, bem como, pode proteger os cabos de curtos no

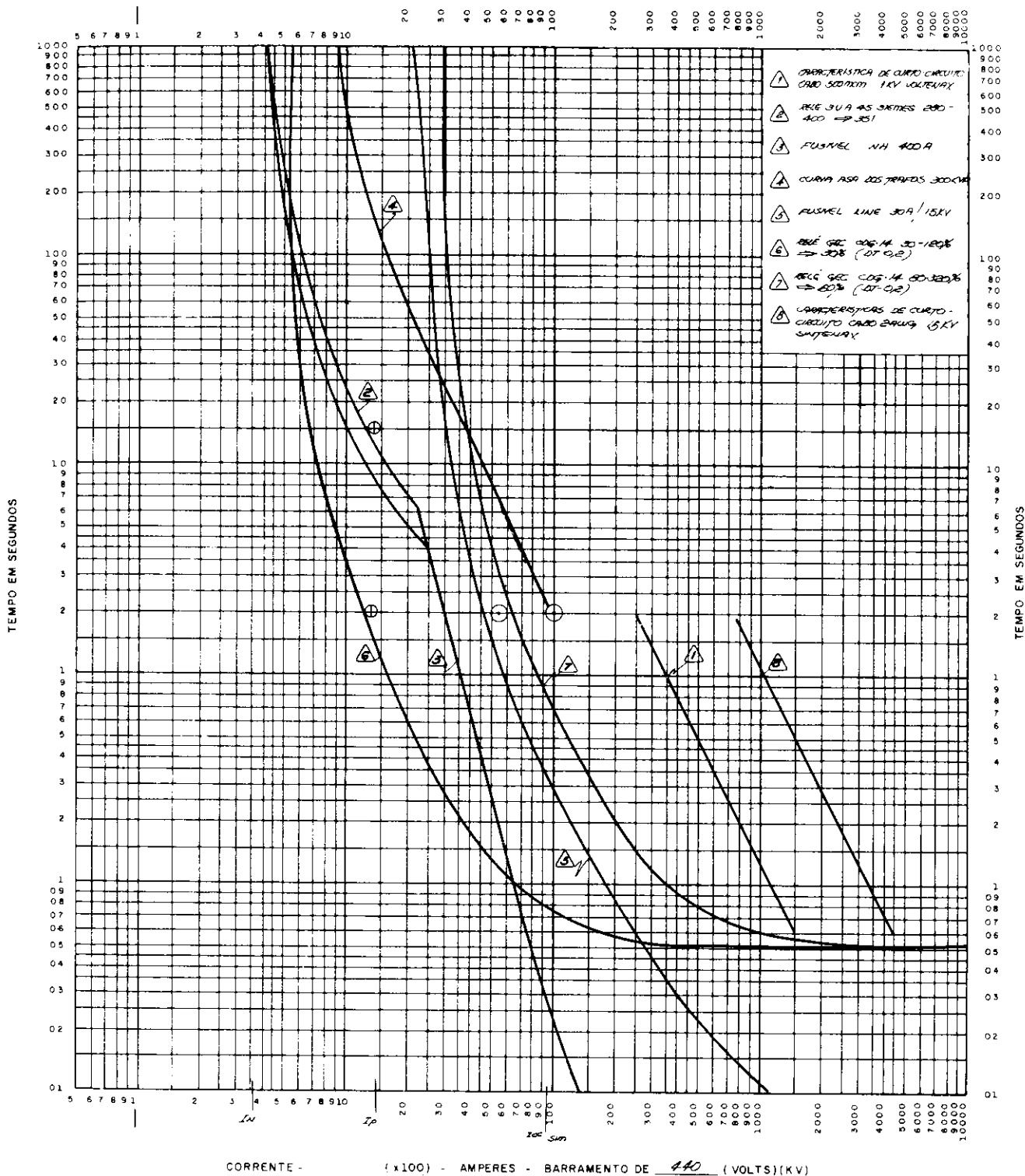
barramento. Por outro lado, os fusíveis da entrada do quadro, somente protegem o transformador e os cabos de curtos no barramento, porém não protegem o transformador de curtos nos cabos. Portanto, o primeiro exerce as funções dos últimos, dispensando-os.

Verifica-se ainda, que os fusíveis de AT do transformador, podem, dependendo de certas condições, efetuar as funções do disjuntor de BT e conseqüentemente dos fusíveis de BT da entrada do quadro.

Estas condições são:

a) coordenar com os fusíveis de 400 A do ramal, ou seja, manter um afastamento mínimo de 0,2 segundos entre as curvas;

CORRENTE (x100) - AMPERES - BARRAMENTO DE 440 (VOLTS)(KV)



CORRENTE - (x100) - AMPERES - BARRAMENTO DE 440 (VOLTS)(KV)



VERIFICAÇÃO GRÁFICA DE SELETIVIDADE

Local :

Feito por :

Aprov. por :

Data : 1/10/78

Desenho Nº 3

DIRETORIA DE CONSTRUÇÃO
DEL - 1
DIVISÃO DE PROJETOS ELÉTRICOS

CONCEPÇÃO

b) proteger o transformador contra curtos fase-terra no seu secundário, ou seja, o ponto correspondente a 0,58 x ponto ANSI do transformador;

c) não ter corrente nominal superior a 2,5 vezes a de plena carga do transformador, visto este não dispor de proteção secundária.

Assim, inicialmente, deve-se tentar selecionar fusíveis de AT que atendam estas condições, visto que, desta forma pode-se dispensar tanto os fusíveis da entrada do quadro, quanto o disjuntor de BT.

Para tanto, constata-se que fusíveis de 30 A da LINE satisfazem as três condições, assim plota-se sua curva definitivamente na figura 3. Conseqüentemente, elimina-se os dispositivos do alimentador e o diagrama unifilar passa a ser o da figura 4.

Aqui é interessante notar-se que os relés do disjuntor geral podem substituir também os fusíveis de AT, na função de proteção, no entanto, sua atuação, por exemplo devido a um curto nos cabos, desligaria toda a instalação, perdendo-se conseqüentemente em flexibilidade. Portanto, mantem-se os fusíveis de AT.

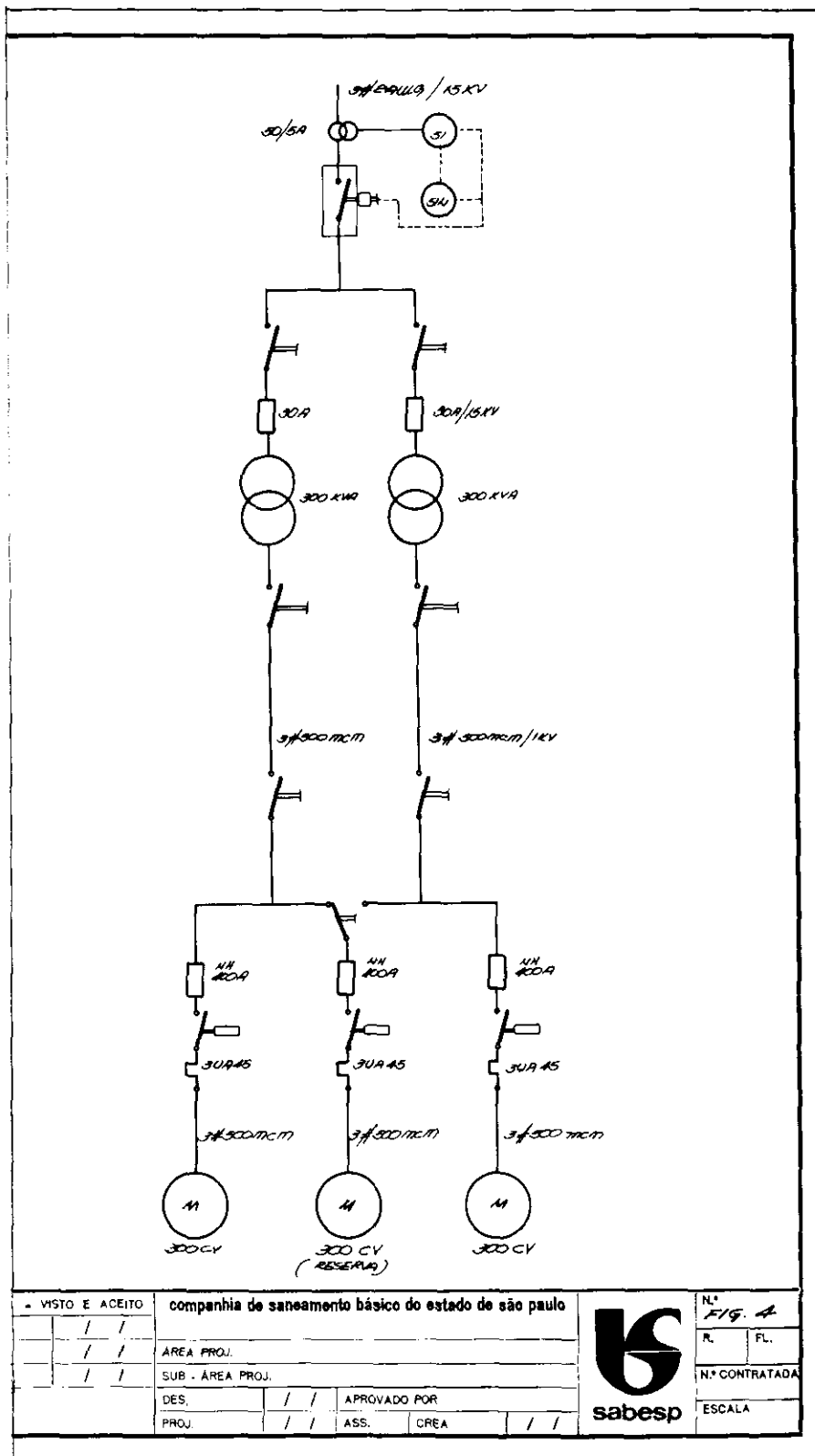
Finalmente resta determinar o último dispositivo, ou seja, os relés do disjuntor geral AT. Sua função é proteger a entrada contra curtos na região compreendida entre o disjuntor e os fusíveis de 50 A; bem como, serem seletivos com estes últimos. Observe-se que, para curtos na AT e abaixo dos fusíveis, as correntes que circularão nos dois dispositivos são praticamente idênticas. Portanto, para serem seletivos, não devem os relés, disporem de elementos instantâneos (função 50).

Por outro lado, é importante que estes relés, por não disporem de elementos instantâneos, tenham curvas de atuação, as mais baixas possíveis, a fim de evitar-se bitolas excessivas nos cabos de entrada, agora para curtos na sua região básica de proteção. Portanto, devem ser preferencialmente do tipo extremamente inverso. Quanto ao relé residual, usualmente recomenda-se que seu ajuste seja de 20% daqueles de fase. Os relés selecionados são aqueles indicados na figura 3.

Após a seleção dos dispositivos de proteção, devem ser determinadas as bitolas dos cabos de interligação, com relação as correntes de carga normais e de curto circuito. Estas últimas, considerando-se os tempos de atuação dos seus respectivos dispositivos de proteção. Os cabos determinados, para o caso, foram de 500 MCM do tipo Voltenax para aos circuitos de BT e 2 AWG do tipo Sintenax para AT, conforme figura 3.

Assim, o diagrama unifilar toma sua forma definitiva, conforme a figura 4. Comparando-o com aquele da figura 1, verifica-se a importância do estudo de seletividade na sua apresentação final; bem como, mostra-se um método racional para a sua elab-

oração ou seja, da concepção do sistema elétrico. Pode-se observar que o diagrama da figura 4, embora mais simples e com menos dispositivos de proteção, é mais confiável, flexível e econômico do que o da figura 1.



| | | | |
|------------------|-----|-------------------------------------------------------|--------------|
| = VISTO E ACEITO | | companhia de saneamento básico do estado de são paulo | |
| / / | / / | AREA PROJ. | |
| / / | / / | SUB - AREA PROJ. | |
| / / | / / | DES. | APROVADO POR |
| | | PROJ. | ASS. CREA |



| | |
|----------------|-----|
| N.º FIG. 4 | |
| R. | FL. |
| N.º CONTRATADA | |
| ESCALA | |