

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA / ELETROTÉCNICA

CAROLINA DUGONSKI  
LOANE MARIA ZOSCHKE

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA ARMazenada  
NA FRENAGEM REGENERATIVA ELÉTRICA EM ELEVADORES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2011

CAROLINA DUGONSKI  
LOANE MARIA ZOSCHKE

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA  
ARMAZENADA NA FRENAGEM REGENERATIVA ELÉTRICA EM  
ELEVADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Nataniel G de Oliveira,  
Eng. Msc.

CURITIBA

2011

Carolina Dugonski  
Loane Maria Zoschke

## ESTUDO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA ARMAZENADA NA FRENAGEM REGENERATIVA ELÉTRICA EM ELEVADORES

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 2 de dezembro de 2011.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre  
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Nataniel Gomes de Oliveira, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Nataniel Gomes de Oliveira, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gilberto Manoel Alves, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Wanderley Szlichta, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecemos a Deus, pelas oportunidades concedidas durante este processo de aprendizado.

Aos nossos familiares e companheiros, que compartilharam do nosso ideal e o alimentaram, incentivando-nos a prosseguir a jornada, fossem quais fossem os obstáculos.

Ao Professor Nataniel Gomes de Oliveira, orientador deste trabalho de conclusão de curso, pelo incentivo e empenho dedicados para nos auxiliar na realização deste trabalho.

Agradecemos também aos funcionários da empresa ThyssenKrupp Elevadores, Élson Amaro do Nascimento e José Aparecido Barbosa da Silva, que contribuíram para o levantamento de dados necessários para o desenvolvimento do trabalho.

## RESUMO

DUGONSKI, Carolina; ZOSCHKE, Loane Maria. Estudo de um sistema de aproveitamento da energia armazenada na frenagem regenerativa elétrica em elevadores. 2011. 147 f. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

Devido à atual situação do planeta, provocada pelas agressões ao meio ambiente, a busca pelo desenvolvimento sustentável é constante. Por este motivo, novas idéias e projetos, que utilizem a energia elétrica de maneira econômica ou racional, são extremamente valorizados. Neste contexto, valoriza-se também a execução de projetos sustentáveis, incluindo, além da racionalização do uso da energia, as chamadas fontes alternativas, de modo a preservar as fontes primárias de energia. A partir desse princípio, verificou-se a possibilidade de utilizar a energia armazenada através da frenagem regenerativa em elevadores. A frenagem regenerativa ainda não é um conceito amplamente divulgado, porém, através do armazenamento da energia gerada, é possível realizar, entre outros processos, o acionamento de motores acoplados a bombas de recalque. Desta maneira, foram realizados estudos e levantamentos que culminaram na formulação de uma solução, buscando a utilização, em bombas de recalque, da energia gerada na frenagem de elevadores. Além disso, para fins de comprovação, foi realizado um experimento, simulando o sistema proposto no aproveitamento da energia gerada no processo de frenagem de elevadores. A solução proposta compreende um sistema de comando e controle, de forma a garantir o abastecimento de água, mesmo quando a energia regenerativa, proveniente de elevadores, for insuficiente para atender a demanda do processo de recalque.

**Palavras-chave:** Frenagem regenerativa. Bombas de recalque. Capacitor. KERS. Desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

DUGONSKI, Carolina; ZOSCHKE, Loane Maria. Study of the use of electric energy system stored in the regenerative electric braking in elevators. 2011. 147 f. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

Due to the current planet situation, caused by the aggression to the environment, the search to the sustainable development is constant. For this reason, new ideas and projects, that uses the electrical energy in a economic or rational way, are extremely valued. In this context, is also valued the projects executions, including, besides to the rationalization of energy use, the known alternatives sources, in the way to preserve the primary energy sources. Therewith this principle was verified the possibility to use the energy stored through the regenerative brake at elevators. The regenerative brake isn't still a concept widely broadcast, however, through the storage of generated energy, is possible to carry out, among another processes, the engine start-up coupled in booster pumps. In this way, were realized studies and collections that led up the formulation of a solution, looking for the use, in booster pumps, of the generated energy of the regenerative brake. Furthermore, in reasons of evidences, an experiment was realized, simulating the system proposed in the better used of generated energy in the process of regenerative brake in elevators. The solution proposed includes a command and control system, in order to guarantee the water supply, even when the regenerative energy, from elevators, is insufficient to attend the demand of process of pumping water.

**Keywords:** Regenerative brake. Booster pumps. Capacitor. KERS. Sustainable development.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Detalhes de um capacitor. ....	30
Figura 2 - Inversor antifase, com apagamento a capacitor. ....	33
Figura 3 - Inversor em ponte, com apagamento a capacitores e indutâncias. ....	34
Figura 4 - Inversor em antifase com saída senoidal.....	35
Figura 5 - Inversor trifásico, obtido com reagrupamento de três inversores monofásicos. ....	36
Figura 6 - Inversor trifásico em ponte.....	37
Figura 7- Esquema ilustrativo de inversor regenerativo. ....	40
Figura 8 - Curva torque x frequência para motor de indução .....	41
Figura 9 - Característica torque x velocidade de uma carga com torque variável	42
Figura 10 - Bomba centrífuga.....	44
Figura 11 - Características das bombas centrífugas em função da vazão.....	44
Figura 12 - Ábaco para a determinação do diâmetro econômico (Forchheimer)..	47
Figura 13 - Ábaco para cálculo de canalizações.....	48
Figura 14 - Representação vetorial das potências .....	55
Figura 15 - Curva característica do fator de potência em um motor de indução trifásico.....	56
Figura 16 - Curvas dos conjugados do motor e de uma bomba centrífuga em função da velocidade .....	58
Figura 17 - Curva de variação da corrente em função da velocidade síncrona (valores percentuais).....	59
Figura 18 - Rendimento do motor em função de sua potência nominal .....	60
Figura 19 - Rendimento em função da potência aplicada ao motor .....	61
Figura 20 - Variação do conjugado nominal de partida de acordo com o tipo de turbobomba .....	63
Figura 21 - Variação do conjugado em função da descarga .....	64
Figura 22 - Variação do conjugado com a velocidade até atingir o valor nominal	65
Figura 23 - Sistemas de proteção do motor elétrico de uma bomba .....	66
Figura 24 - Curvas de tempo de fusão em função da intensidade da corrente partida para fusíveis DIAZED da Siemens .....	68
Figura 25 - Curvas de tempo de fusão em função da corrente máxima de partida para fusíveis NH da Siemens.....	69

Figura 26 - Regulador de nível Flygt - ENH-10 .....	71
Figura 27 - Automático de bóia para reservatório superior e inferior. Situações possíveis. ....	72
Figura 28 - Instalação de bombeamento de água para edifícios com dois reservatórios duplos. (Representação esquemática) .....	73
Figura 29 - Placa de identificação do motor do elevador .....	75
Figura 30 - Placa de Identificação do motor do elevador .....	78
Figura 31 - Motor do elevador .....	78
Figura 32 - Controle do Elevador .....	79
Figura 33 - Queimador existente no edifício visitado.....	79
Figura 34 - Acionamento do elevador quando está no andar Térreo .....	81
Figura 35 - Cabine no andar solicitado.....	81
Figura 36 - Cabine no pavimento Térreo.....	82
Figura 37 - Acionamento do elevador quando está em posição intermediária .....	83
Figura 38 - Cabine no pavimento Térreo.....	84
Figura 39 - Cabine no andar do usuário .....	84
Figura 40 - Esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada .....	86
Figura 41 - Parte do esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada.....	86
Figura 42 - Parte do esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada .....	87
Figura 43 - Esquema elétrico de comando do Projeto .....	95
Figura 44 - Esquema elétrico de força do Projeto .....	96
Figura 45 - Diagrama dos processos .....	100
Figura 46 - Processo P-02 .....	104
Figura 47 - Processo P-03 .....	106
Figura 48 - Processo P-04 .....	108
Figura 49 - Processo P-05 .....	110
Figura 50 - Tensão insuficiente na fonte DC (S5) e o mínimo do reservatório superior não foi atingido (S0), o grupo motor-bomba não é alimentado por nenhuma das duas fontes de energia(K1 e K2) .....	112
Figura 51 - Quando a tensão na fonte DC é suficiente (S5) o grupo motor-bomba é acionado pelo inversor (K1).....	113

Figura 52 - Mesmo que a tensão da fonte DC seja suficiente (S5), se o mínimo do reservatório superior for atingido (S0), o motor-bomba é acionado pela rede AC (K2) apenas durante um tempo pré-definido (KT1) .....	114
Figura 53 - Quando o reservatório superior atinge o máximo (S1) a alimentação do motor-bomba não é realizada por nenhuma das duas fontes de energia (K1 e K2).....	115
Figura 54 - Quando o reservatório inferior atinge o mínimo (S2) a alimentação do motor-bomba não é realizada por nenhuma das duas fontes de energia (K1 e K2) .....	116
Figura 55 - Quando o sistema regenerativo é desligado pela comutadora com chave (S3) o motor-bomba não pode ser alimentado pelo inversor (K1) .....	117
Figura 56 - Com o sistema regenerativo desligado, quando o reservatório superior atinge o mínimo (S0) o motor-bomba é acionado pela rede AC (K2) sem a temporização (KT1).....	118
Figura 57 - Quando o reservatório superior atinge o máximo (S1) a alimentação do motor-bomba a alimentação pela rede AC (K2) é desligada.....	119
Figura 58 - Quando o reservatório superior atinge o máximo (S1) a temporização de segurança (KT3) é iniciada, durante esse tempo o motor-bomba ainda é acionado pela rede AC (K2) .....	120
Figura 59 - Após o tempo de segurança expirar (KT3) a alimentação do motor-bomba pelas duas fontes de energia é desligada (K1 e K2) e um alarme é acionado, para desligar o alarme e permitir o acionamento do motor-bomba novamente basta pressionar uma chave (S4).....	121
Figura 60–Com tensão suficiente na fonte DC (S5) o acionamento é feito pelo inversor (K1).....	122
Figura 61 - Quando o máximo do reservatório superior é atingido (S1) a alimentação pelas duas fontes de energia é desligada (K1 e K2) e o temporizador para acionar o inversor novamente é acionado (KT2) desligando a alimentação pelo inversor (K1).....	123
Figura 62 - Enquanto o temporizador para acionar o inversor novamente está dentro do tempo programado (KT2), mesmo que a tensão na fonte DC seja suficiente (S5), o acionamento pelo inversor continua desligado (K1), evitando o funcionamento intermitente do inversor .....	124
Figura 63 - Esquema elétrico de comando do Experimento.....	127

Figura 64 - Esquema elétrico de força do Experimento .....	128
Figura 65 - Experimento do sistema de aproveitamento de energia .....	130

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Consumo de água em edifícios .....	45
Tabela 2 - Potência e tensão de motores elétricos .....	54
Tabela 3 - Rendimento em função da potência nominal .....	61
Tabela 4 - Dados do prédio visitado na Rua Gutemberg .....	76

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Caracterização da velocidade conforme o tipo de motor .....	53
Quadro 2 - Velocidade e conjugado conforme o tipo de motor .....	53
Quadro 3 - Requisitos para o projeto .....	90
Quadro 4 - Requisitos de Segurança .....	91
Quadro 5 - Requisitos de nível de serviço.....	91

**LISTA DE SIGLAS**

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
cv	Cavalo
f	Frequência
F	Farad
f.c.e.m.	Força Contra-Eletromotriz
H	Altura
$\eta$	Rendimento
JOG	Impulso
m	Metro
M	Conjugado Do Motor Elétrico
m.c.a	Metros De Coluna De Água
MIT	Motor De Indução Trifásico
n	Número de rotações por minuto de um motor de indução trifásico
N	Velocidade
PWM	Modulação por Largura de Pulso
q	Quantidade de Carga
Q	Vazão
rpm	Rotações por Minuto
U	Diferença de Potencial
V	Tensão

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	18
1.1	TEMA.....	18
1.1.1	Delimitação do tema .....	19
1.2	PROBLEMA E PREMISSA .....	20
1.3	OBJETIVOS.....	22
1.4	JUSTIFICATIVA.....	23
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	24
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	25
1.7	CRONOGRAMA .....	26
2	REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	27
2.1	CONCEITOS DE ENERGIA .....	27
2.2	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	28
2.3	FREIOS REGENERATIVOS.....	29
2.4	MEIOS DE ARMAZENAMENTO.....	30
2.5	DISPOSITIVOS DE CONVERSÃO CC/CA.....	32
2.5.1	Inversor de frequência .....	32
2.5.1.1	Introdução .....	32
2.5.1.2	Tipos de inversores.....	33
2.5.1.2.1	Inversores a ponte .....	33
2.5.1.2.2	Inversores com saída senoidal .....	34
2.5.1.2.3	Inversores trifásicos.....	35
2.5.1.3	Inversores de frequência no acionamento de motores de indução .....	38
2.5.1.4	Inversores de frequência alimentados no barramento CC .....	40
2.5.1.5	Dimensionamento de inversores:.....	40
2.6	MECANISMOS DE ACIONAMENTOS DE BOMBAS .....	42
2.6.1	Bomba Centrífuga radial com acoplamento e único estágio .....	43
2.6.2	Consumo Predial .....	44
2.6.3	Acionamento por motores elétricos.....	49
2.6.3.1	Classificação dos motores .....	49
2.6.3.1.1	Motores de corrente contínua .....	49
2.6.3.1.2	Motores de corrente alternada.....	50
2.6.3.1.2.1	Motores Síncronos .....	50

2.6.3.1.2.2	Motores Assíncronos.....	51
2.6.3.2	Escolha do Motor .....	52
2.6.3.3	Tensão de operação nos motores das bombas .....	54
2.6.3.4	Fator de Potência.....	54
2.6.3.5	Corrente no Motor Trifásico .....	56
2.6.3.6	Conjugado do Motor Elétrico.....	57
2.6.3.7	Corrente de Partida no Motor Trifásico .....	58
2.6.3.8	Rendimento ( $\eta$ ) .....	60
2.6.3.9	Escorregamento.....	62
2.6.3.10	Fator de Serviço (FS).....	62
2.6.3.11	Variação do Conjugado de Partida das Turbobombas .....	62
2.6.3.12	Ramal de Alimentação do Motor .....	65
2.6.3.13	Dispositivos de partida e de chaveamento (liga/desliga) dos motores– Chaves de Partida.....	66
2.6.3.14	Dispositivos de Proteção dos Motores .....	67
2.7	COMANDO DA BOMBA COM CHAVE DE BÓIA .....	69
3	SOLUÇÕES PROPOSTAS.....	74
3.1	CONSUMO DE ENERGIA NA FRENAGEM DE ELEVADORES.....	74
3.1.1	Visitas a edifícios residenciais .....	74
3.2	CONSUMO DE ÁGUA COMPARADO À ENERGIA GERADA PELA FRENAGEM.....	80
3.2.1	Saída – Manhã (HIPÓTESE $\Rightarrow$ Um morador por viagem) .....	80
3.2.2	Entrada – Noite (HIPÓTESE $\Rightarrow$ Um morador por viagem).....	83
3.2.3	Entrada – Saída durante o dia (HIPÓTESE $\Rightarrow$ Um morador por viagem) .....	85
3.2.4	Avaliação do emprego da energia regenerativa – Bombas de Recalque .....	86
3.2.4.1	Armazenamento da energia gerada na frenagem regenerativa dos elevadores.....	86
3.2.4.2	Energia transferida para a bomba.....	87
4	MONTAGEM E TESTES DO EXPERIMENTO .....	89
4.1	REQUISITOS.....	89
4.1.1	Lista dos Requisitos.....	90
4.1.2	Requisitos de Segurança .....	91
4.1.3	Disponibilidade.....	91
4.1.3.1	Requisitos para acordo de nível de serviço (SLA) .....	91

4.1.3.2	Requisitos de sazonalidade .....	92
4.1.4	Abrangência do Projeto .....	92
4.2	PROJETO .....	92
4.2.1	Esquema elétrico .....	92
4.2.2	Equipamentos e materiais .....	97
4.2.3	Especificação dos Processos .....	98
4.2.3.1	Diagrama dos Processos .....	100
4.2.3.2	Variáveis .....	101
4.2.3.3	Processo <b>P-01</b> – Ajustes - Acionamentos .....	103
4.2.3.3.1	Descrição.....	103
4.2.3.4	Processo <b>P-02</b> – Controla o Inversor .....	104
4.2.3.4.1	Descrição.....	104
4.2.3.4.2	Pré-condições (para <b>ativar</b> o processo <b>P-02</b> ).....	104
4.2.3.4.3	Diagrama (uma vez <b>ativado</b> o processo <b>P-02</b> ).....	104
4.2.3.4.4	Fluxo do processo ( <b>P-02</b> ) .....	105
4.2.3.5	Processo <b>P-03</b> - Aciona Rede AC – Ciclo Parcial .....	105
4.2.3.5.1	Descrição.....	105
4.2.3.5.2	Pré-condições (para <b>ativar</b> o processo <b>P-03</b> ).....	105
4.2.3.5.3	Diagrama (depois de <b>ativado</b> o processo <b>P-03</b> ).....	105
4.2.3.5.4	Fluxo do processo ( <b>P-03</b> ) .....	106
4.2.3.6	Processo <b>P-04</b> - Aciona Rede AC – Ciclo Completo.....	107
4.2.3.6.1	Descrição.....	107
4.2.3.6.2	Pré-condições (para <b>ativar</b> o processo <b>P-04</b> ).....	107
4.2.3.6.3	Diagrama (depois de <b>ativado</b> o processo <b>P-04</b> ).....	108
4.2.3.6.4	Fluxo do processo ( <b>P-04</b> ) .....	108
4.2.3.7	Processo <b>P-05</b> – Aciona o motor-bomba pelo Inversor.....	109
4.2.3.7.1	Descrição.....	109
4.2.3.7.2	Pré-condições (para <b>ativar</b> o processo <b>P-05</b> ).....	109
4.2.3.7.3	Diagrama (depois de <b>ativado</b> o processo <b>P-05</b> ).....	110
4.2.3.7.4	Fluxo do processo ( <b>P-05</b> ) .....	110
4.2.4	Simulação do projeto .....	111
4.3	EXPERIMENTO .....	125
4.3.1	Esquema elétrico .....	125
4.3.2	Equipamentos e materiais .....	129

4.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	130
5	CONCLUSÃO .....	132
6	REFERÊNCIAS .....	134
	<b>APÊNDICE A - VISITA AO EDIFÍCIO – THYSSENKRUPP .....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE B - TABELA DE CÁLCULO DE ALTURA MANOMÉTRICA E VAZÃO PARA O EDIFÍCIO VISITADO NA RUA GUTENBERG .....</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE C - PROPOSTA DE SENSOR DE TENSÃO – PIC.....</b>	<b>140</b>
	<b>APÊNDICE D - CÓDIGO FONTE PROPOSTO PARA O SENSOR DE TENSÃO – PIC</b>	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE E - SIMULAÇÃO DO SENSOR DE TENSÃO PROPOSTO.....</b>	<b>142</b>
	<b>ANEXO A - CATÁLOGO ELEVADOR SINERGY – THYSSENKRUPP.....</b>	<b>147</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 TEMA

A energia exerce funções essenciais para o desenvolvimento social e humano. Somada aos transportes, água e saneamento forma-se a base do modelo de desenvolvimento vigente. Por este motivo o estudo de temas energéticos é necessário, de forma integrada e considerando questões tecnológicas, econômicas, sociais, políticas e ambientais, para que se caminhe na busca do desenvolvimento sustentável (REIS, 2003).

Desta maneira, visando a sustentabilidade, deve-se utilizar os recursos naturais de maneira adequada e equilibrada com o meio ambiente. Para tanto, torna-se necessária uma maior eficiência da cadeia elétrica, passando por vários setores como geração, transmissão (e subtransmissão), distribuição e utilização (REIS, 2003).

O desenvolvimento econômico e social de um país é altamente influenciado pela energia, porém parte da população usa este recurso inadequadamente. A racionalização de uso, além de baixo custo, pode ser implantada em curto prazo. Apenas incentivando a população a mudar seus hábitos e procedimentos, uma significativa economia pode ser alcançada, diminuindo por consequência os impactos ambientais (ROCHA, 2005).

Um sistema de regeneração de energia cinética é um dispositivo em que a energia cinética gerada na desaceleração que seria desperdiçada é recolhida, e em seguida reutilizada. Com o acionamento de freios a energia do torque resultante, que normalmente é desperdiçada, pode ser transformada em eletricidade e armazenada em capacitores (ABVE, 2010).

Freios regenerativos elétricos derivam dos freios dinâmicos, também conhecidos como freios reostáticos, eram implementados em bondes diesel-elétrico e locomotivas desde o século XX. Os geradores atuavam como freios, convertendo a energia cinética em eletricidade (ABVE, 2010).

Em edifícios onde já são utilizados elevadores com sistema de regeneração de frenagem, a economia proporcionada chega a 30% da energia gasta pelo elevador em relação aos convencionais. Enquanto a frenagem nos elevadores convencionais é obtida através do atrito, levando à perda da energia pelo calor, a

frenagem regenerativa é feita por sistema eletromagnético. Na frenagem os motores se transformam em geradores e armazenam essa energia em banco de capacitores (AECweb, 2009).

Os recursos naturais vêm sendo utilizados de maneira irresponsável pela população, o que acarreta prejuízos em vários setores. Um exemplo é o abastecimento público de água, que antigamente era realizado por meio de fontes limpas, captadas diretamente nas encostas e trazidas às comunidades através da ação da gravidade. Porém atualmente, devido ao crescimento populacional, depende quase totalmente de bombeamento e de tratamento (MONACHESI, 2005).

O uso de bombas de água tornou-se indispensável e, como consequência, também o uso da energia elétrica para o acionamento dos motores que fazem funcionar as bombas. Assim, se não foi possível evitar a degradação ambiental até aqui, importa agora tentar evitar a continuidade das ações que nos levaram a essa situação. E uma importante contribuição nesse contexto consiste em reduzir ao máximo o uso irracional da energia, se não pela consciência ambiental da necessidade de deixar para as futuras gerações um planeta em melhores condições de habitabilidade, ao menos para reduzir os custos dos serviços, que, em última análise, serão sempre pagos pela sociedade, não importando se o arranjo para a prestação desse benefício venha a ser patrocinado pelo público ou pelo privado (MONACHESI, 2005).

### 1.1.1 Delimitação do tema

Visando um consumo sustentável de energia, busca-se neste trabalho de conclusão de curso o estudo da otimização do aproveitamento da energia gerada e armazenada em capacitores na frenagem regenerativa de elevadores em prédios residenciais, para o acionamento de bombas de recalque. O estudo envolverá conceitos como sistema de bombeamento, dispositivos de conversão cc/ca trifásicos e mecanismos de acionamento de bombas para o controle do nível de água armazenada em reservatórios. Além disso, será desenvolvido o projeto do sistema de comando e controle do acionamento do grupo motor-bomba. Um experimento prático será realizado para comprovar o funcionamento desse sistema.

## 1.2 PROBLEMA E PREMISSE

O Brasil é um país de grande extensão rico em recursos energéticos. No entanto, na escolha das melhores opções para atender a crescente demanda de energia devem-se considerar vários aspectos tais como o ambiental, o social, o econômico e o tecnológico (TOLMASQUIM, 2005).

Ainda é pequeno o número de campanhas de conscientização em relação à economia de energia e à compra de produtos mais eficientes e econômicos. Por consequência, a meta da sustentabilidade é pouco divulgada e pouco buscada pela população. Assim, muito se pode fazer para evitar o desperdício de energia.

Para que seja possível atender à demanda exigida, degradando minimamente o meio ambiente e encontrando soluções economicamente viáveis, cabe à engenharia desenvolver novos métodos e equipamentos que sejam energeticamente eficientes.

A solução, ainda que a longo prazo, está relacionada ao desenvolvimento tecnológico, o que dará continuidade à melhoria na eficiência do uso da energia e também ao desenvolvimento de energias renováveis. Desta forma, muitos problemas ambientais podem ser eliminados (ALQUÉRES, 2003).

Observa-se ainda, que com o acionamento de freio de elevadores por meio de geradores de indução, pode-se armazenar a energia em capacitores para posterior reaproveitamento. Porém, em grande parte dos casos em que se utiliza a frenagem com geradores de indução, a energia não é armazenada e tão pouco utilizada para outros fins, sendo geralmente eliminada por queimadores. Nos casos do emprego da frenagem regenerativa a energia é armazenada em capacitores. No entanto, a partir do momento em que a tensão no capacitor atinja sua tensão limite, a energia adicional da frenagem é dissipada em resistores de potência de modo a reduzir a tensão no barramento do capacitor. Portanto, na frenagem regenerativa é possível aumentar ainda mais a eficiência energética do sistema com a adoção de soluções que evitem ou minimizem a energia dissipada nos resistores de potência.

A motivação deste trabalho de conclusão de curso está em buscar e propor soluções que redirecionem para as bombas de recalque a energia armazenada em capacitores durante a frenagem regenerativa de elevadores. Com isto, pode-se aproveitar a energia dos capacitores na medida em que esta é armazenada,

evitando-se ou então minimizando o uso dos “queimadores”, para que se possa alcançar gradualmente um consumo sustentável.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Estudar maneiras de otimizar o aproveitamento da energia gerada na frenagem regenerativa de elevadores por meio das bombas de recalque, visando à economia de energia em prédios residenciais.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar a bibliografia existente sobre os temas abordados no trabalho de conclusão de curso;
- Descrever sobre dispositivos de conversão cc/ca e o funcionamento de sistemas de bombeamento;
- Desenvolver um experimento de acionamento de bombas de recalque para o aproveitamento da energia proveniente da frenagem regenerativa em elevadores.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Observando o crescimento demográfico e econômico mundial, prevê-se um crescente aumento na demanda de energia elétrica. Por outro lado, os recursos naturais necessários a essa geração de energia vem se esgotando constantemente, gerando preocupações relacionadas a possíveis restrições no fornecimento de energia (ALQUÉRES, 2003).

Dois fatores são muito importantes para o futuro energético do mundo, o modo como a energia é utilizada e as tecnologias empregadas na geração, transporte e consumo. Atualmente, para favorecer o desenvolvimento dos países, há cada vez mais energia sendo comercializada e a preços relativamente baixos, o que induz ao desperdício de energia, sendo por hábitos inadequados ou por baixa eficiência dos aparelhos utilizados. Porém a tendência é de que o mercado faça prevalecer preços adequados para o comércio de energia, criando, assim, melhores hábitos no consumo e a utilização de aparelhos mais eficientes, reduzindo o desperdício e levando a um uso mais eficaz da energia. O outro fator é o desenvolvimento tecnológico que levará a um melhor aproveitamento dos recursos naturais para a geração de energia e ao desenvolvimento de formas mais econômicas de gerar, distribuir e consumir a energia elétrica (ALQUÉRES, 2003).

Os dois fatores apresentados justificam a proposta apresentada neste trabalho, que visa diminuir o desperdício da energia gerada pelos freios regenerativos em elevadores através do emprego das tecnologias desenvolvidas pela engenharia.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Após definir o objetivo do trabalho, os integrantes da equipe irão pesquisar e estudar sobre os temas abordados nesta proposta: propriedades da energia armazenada por frenagem regenerativa em elevadores, controle da tensão, da corrente e do acionamento dos motores das bombas de recalque.

Com o conhecimento necessário sobre as áreas do trabalho, será necessário definir quais tecnologias serão empregadas nas duas diferentes áreas de controle necessárias para a realização deste trabalho, sendo escolhidas aquelas que melhor se adaptarem aos objetivos do trabalho tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro. Como esta é uma proposta que visa à economia de energia, é necessário que as alternativas escolhidas apresentem um bom rendimento na utilização da energia armazenada pela frenagem regenerativa de elevadores.

Também serão realizadas as formulações matemáticas e simulações necessárias para o completo entendimento dos procedimentos a serem realizados, antes de serem colocados em prática, garantindo, assim, maior facilidade no desenvolvimento da experiência para analisar os resultados no aproveitamento da energia armazenada pelo uso de freios regenerativos em elevadores.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será estruturado da seguinte maneira:

### Capítulo 1 – Introdução Geral

#### 1.1 Tema

##### 1.1.1 Delimitação do tema

#### 1.2 Problema

#### 1.3 Objetivos

##### 1.3.1 Objetivo geral

##### 1.3.2 Objetivos específicos

#### 1.4 Justificativa

#### 1.5 Procedimentos metodológicos

#### 1.6 Estrutura do trabalho

### Capítulo 2 – Referenciais Teóricos

#### 2.1 Conceitos de energia

#### 2.2 Geração de energia

#### 2.3 Freios regenerativos

#### 2.4 Meios de armazenamento

#### 2.5 Dispositivos de conversão cc/ca

#### 2.6 Mecanismos de acionamento de bombas

#### 2.7 Sistema de Controle de nível de reservatório d'água.

### Capítulo 3 – Soluções propostas

#### 3.1 Consumo de energia na frenagem de elevadores

#### 3.2 Consumo de água comparado à energia gerada pela frenagem

### Capítulo 4 – Montagem e testes do Experimento

#### 4.1 Requisitos

#### 4.2 Projeto

#### 4.3 Experimento

#### 4.4 Avaliação dos resultados obtidos

### Capítulo 5 – Conclusão

### Capítulo 6 – Referências



## 2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

### 2.1 CONCEITOS DE ENERGIA

A palavra “Energia” vem do grego e significa trabalho. Era usada para referir-se a fenômenos inicialmente explicados pelos termos “força viva” ou “calórico”. Em 1807 a palavra “energia” foi usada pela primeira vez, pelo médico e físico inglês Thomas Young, que escolheu esse termo para expressar a capacidade de um corpo realizar trabalho mecânico (BUCUSSI, 2006).

O termo “Energia” é muito utilizado na explicação e descrição de fatos que ocorrem diariamente, desta maneira, é um tema de grande importância para a sociedade atual. O consumo de energia é bastante elevado, tornando relevantes os problemas ambientais, sociais, econômicos e geopolíticos envolvidos na geração, distribuição e consumo da energia. Assim, o cotidiano revela que a energia, além de indispensável ao atual modo de vida da sociedade moderna, precisa ser tratada de modo sustentável desde sua produção, até seu armazenamento, transmissão e consumo (BUCUSSI, 2006).

## 2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA

Gerar energia tornou-se uma questão estratégica essencial para a população mundial ao considerar que, a cada dia surgem novas tecnologias e os recursos naturais necessários não são inesgotáveis. A partir disto, é importante que as empresas e nações considerem, além das demandas dos consumidores, os impactos sócio-ambientais de suas operações (CASTELLI, 2003).

A geração de energia está ligada com o desenvolvimento econômico e social de um país, o que torna importante o suprimento de energia, preservando o meio ambiente, e mantendo a sintonia entre geração energética e novas tecnologias (CASTELLI, 2003).

Atualmente, as principais fontes de energia são: movimento das águas e do ar, calor produzido por reações químicas ou nucleares e a luz solar. Estas fontes, através do uso de dispositivos adequados, são conversíveis em energia elétrica, que é transportada pelas linhas de transmissão e/ou distribuição até os locais de consumo, onde é convertida em energia útil, conforme a necessidade do consumidor. Há outras maneiras de transportar energia até o consumidor, uma delas é através de energia química ou nuclear armazenada em diversos tipos de combustíveis. Os combustíveis, por sua vez, da mesma maneira que a energia elétrica, passam por um processo de transformação para que o consumidor utilize a energia neles contida, assim, após a produção e o transporte, a energia estará disponível para o consumo (SANTOS, 2009).

### 2.3 FREIOS REGENERATIVOS

Na frenagem, quando parte da energia cinética é convertida, armazenada e reutilizada, diz-se que esta frenagem é regenerativa. Na frenagem regenerativa, ao se acionar o freio, o motor elétrico de tração passa a atuar como um gerador. Esta energia gerada pode ser armazenada em baterias e em capacitores. A vantagem dos capacitores está em que estes podem ser carregados mais rapidamente que as baterias (SANTOS, 2009).

## 2.4 MEIOS DE ARMAZENAMENTO

Capacitores são dispositivos eletrônicos que armazenam energia de maneira direta, na forma de campo elétrico. Os capacitores são constituídos de um material isolante denominado dielétrico, envolto por duas placas condutoras. A Figura 1 ilustra os detalhes de um capacitor (SANTOS, 2009).

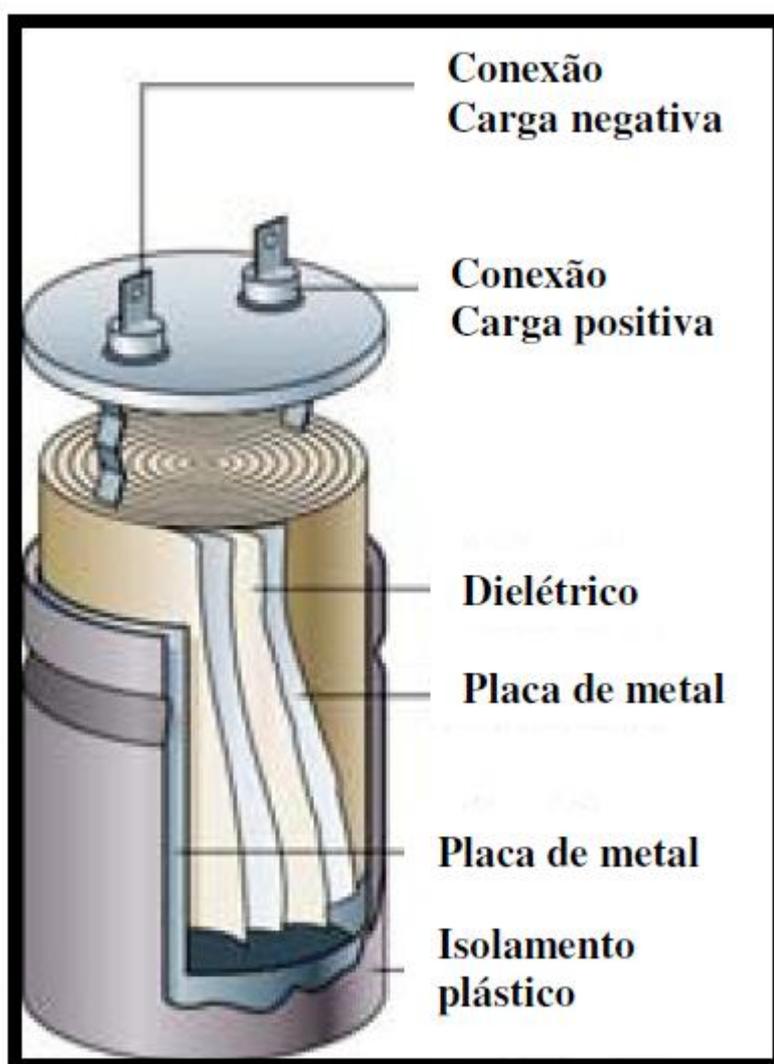


Figura 1 - Detalhes de um capacitor.

Fonte: Santos (2009).

A capacitância é um parâmetro elétrico do capacitor. Pode ser determinada pela relação entre a quantidade de carga ( $q$ ) armazenada em um capacitor e a diferença de potencial ( $U$ ), que surge nos terminais do capacitor em decorrência da

própria carga armazenada. A unidade da capacitância é o Farad (F), que corresponde a uma corrente de um Ampère quando a tensão estiver variando na razão de um volt por segundo (SANTOS, 2009).

$$q = C \times U$$

Onde:

q – quantidade de carga em Coulomb (C);

C – capacitância em Farad (F);

U – tensão em Volt (V).

Os tipos de capacitores que mais se destacam são o eletrolítico, o cerâmico, o de tântalo e o de poliéster, e possuem características de acordo com determinados tipos de aplicação (SANTOS, 2009).

Os capacitores convencionais armazenam energia pela remoção de elétrons de uma das placas de metal, acumulando-os na outra placa. A separação entre as placas cria uma diferença de potencial, permitindo que este potencial seja aproveitado em um circuito externo. A energia armazenada no capacitor pode ser determinada por meio do número de elétrons armazenados ou da diferença de potencial entre as placas (SANTOS, 2009).

$$E_{armazenada} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

$$E_{armazenada} = \frac{1}{2} C U^2$$

Onde:

$E_{armazenada}$  – energia armazenada em (J);

q – quantidade de carga em Coulomb (C);

C – capacitância em Farad (F);

U – tensão em Volt (V).

## 2.5 DISPOSITIVOS DE CONVERSÃO CC/CA

### 2.5.1 Inversor de frequência

#### 2.5.1.1 Introdução

Através da correta ligação entre diodos é possível criar um retificador, que transforma tensão alternada em contínua, porém, substituir esses diodos por tiristores permite o controle dos valores de tensão e corrente de saída, além disso, também torna-se possível converter energia contínua em alternada, sendo esses equipamentos comumente chamados de Inversores de Frequência. O termo genérico para os retificadores e inversores é “Conversor de Frequência” (FIGINI, 1982).

Tiristores ligados à corrente contínua, quando levados a condução, conduzem uma corrente de valor constante e não há como desligá-lo pelas maneiras convencionais (apagamento natural ou comutação comandada através de uma tensão maior que a conduzida anteriormente). Sendo assim, é necessário chaveá-lo com um disjuntor, o que seria inviável, ou utilizar circuitos auxiliares que proporcionam a não circulação de corrente pelo tiristor, chamados de circuitos de apagamento (FIGINI, 1982).

Os circuitos de apagamento têm por objetivo fornecer uma tensão inversa ao tiristor e, simultaneamente, à carga. Esses circuitos normalmente são comandados por tiristores auxiliares. Quando o chaveamento é entre dois ou mais tiristores o circuito pode ser montado de maneira que ao começar a circular corrente pelo novo tiristor o antigo seja induzido a desligar-se. Um exemplo de circuito de apagamento é com a ligação de um capacitor em série aos tiristores, que vai provocar o apagamento do tiristor, como mostrado na Figura 2 (FIGINI, 1982).

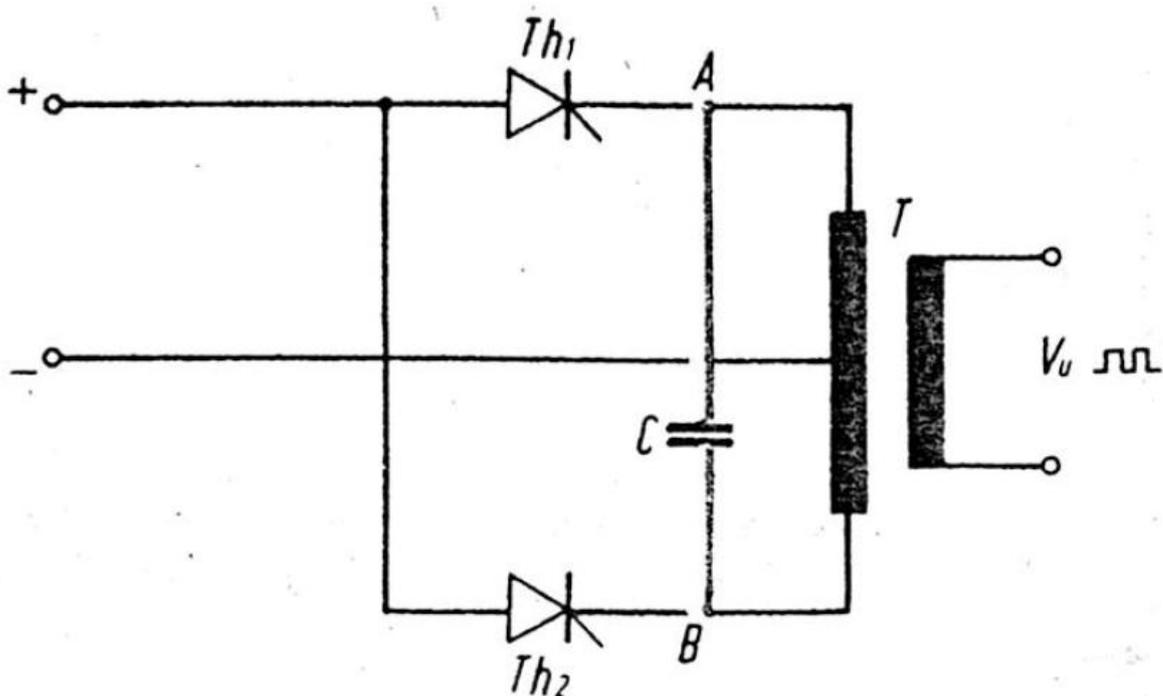


Figura 2 - Inversor antifase, com apagamento a capacitor.

Fonte: Figini(1982).

Na Figura 2, quando o  $Th_1$  conduz, o capacitor é carregado ficando o ponto A positivo e o B negativo. Ao excitar o  $Th_2$  o ponto B fica no potencial positivo de alimentação, mas como o capacitor não descarrega instantaneamente, o  $Th_1$  encontra-se polarizado reversamente e para de conduzir, fazendo com que o capacitor seja descarregado e logo após recarrega-se no sentido inverso, e assim sucessivamente (FIGINI, 1982).

### 2.5.1.2 Tipos de inversores

#### 2.5.1.2.1 Inversores a ponte

São conversores constituídos normalmente de 4 tiristores associados à 4 capacitores e 2 indutores de tomada central. Nesse esquema, mostrado na Figura 3, dois tiristores são acionados por vez, durante a primeira semionda serão acionados  $Th_1$  e  $Th_4$ , carregando os capacitores  $C_2$  e  $C_3$  que excitarão os outros 2 tiristores, os capacitores descarregarão através da metade das duas indutâncias que, causarão uma indução nas outras metades dos indutores e desligarão os primeiros tiristores.

Os capacitores referentes à segunda dupla de tiristores também irão carregar-se mantendo, assim, o ciclo de comutação sucessiva (FIGINI, 1982).

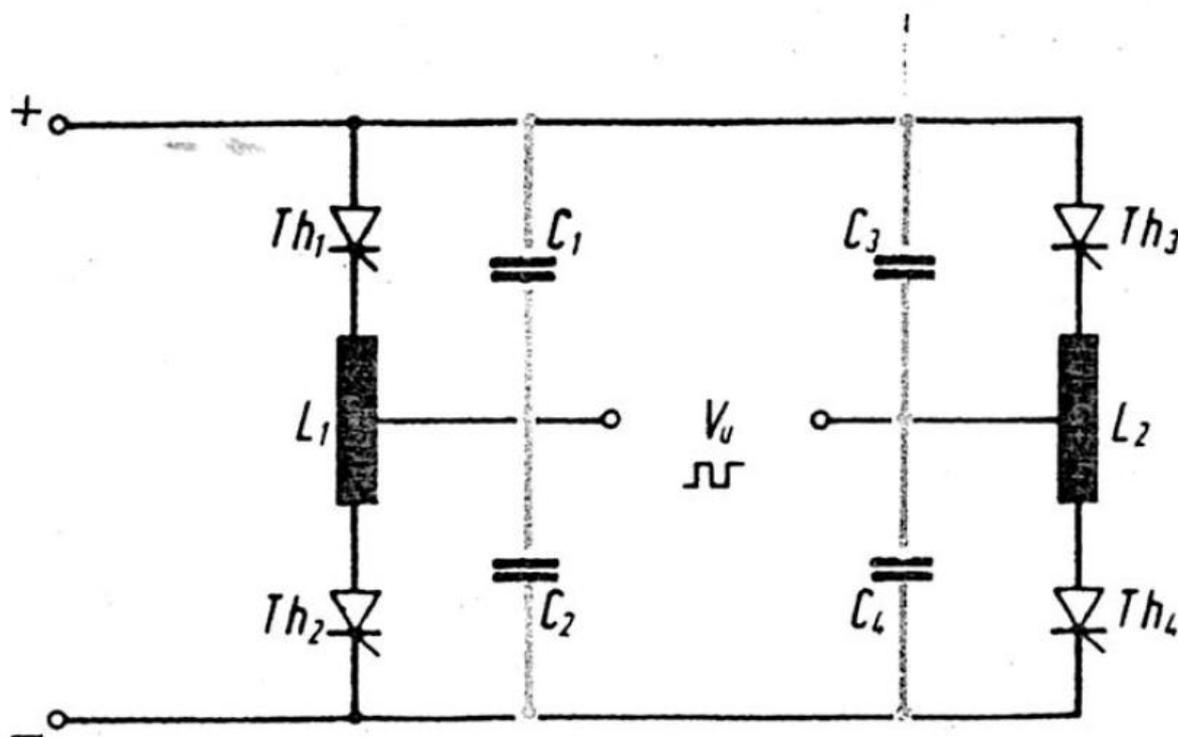


Figura 3 - Inversor em ponte, com apagamento a capacitores e indutâncias.

Fonte: Figini(1982).

#### 2.5.1.2.2 Inversores com saída senoidal

Inversores de frequência não costumam apresentar saídas perfeitamente senoidais, mas podem se aproximar muito disso. Nesses inversores a carga sempre estará ligada em série com um dos capacitores. Ao excitar o tiristor  $Th_1$ , a corrente atravessará um transformador, ligado à carga, e passará pelo capacitor  $C_2$ , como mostrado na Figura 4. O indutor continuará injetando corrente no circuito até o capacitor chegar a uma tensão superior a da fonte CC, desligando o tiristor  $Th_1$ , excitando o outro tiristor e repetindo este mesmo fenômeno através de  $Th_2$  e  $C_1$  (FIGINI, 1982).

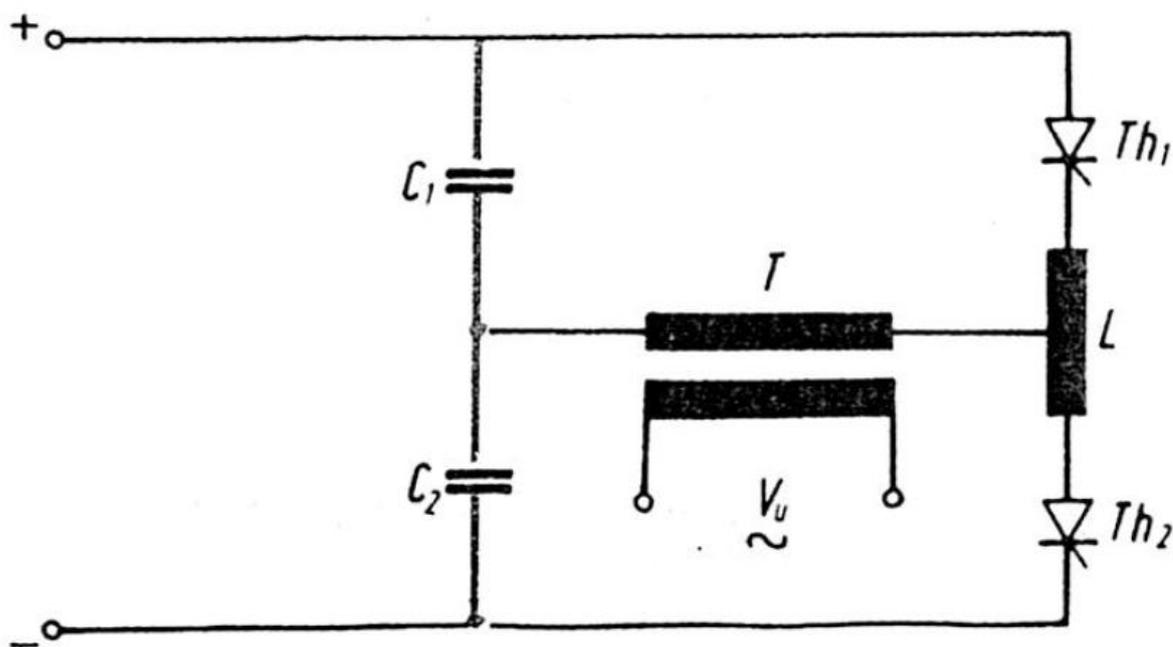


Figura 4 - Inversor em antifase com saída senoidal.

Fonte: Figini(1982).

#### 2.5.1.2.3 Inversores trifásicos

Um inversor trifásico pode ser obtido através da combinação de 3 inversores monofásicos, ilustrado na Figura 5, ou com uma ligação direta trifásica. Ao utilizar 3 inversores monofásicos, os seus impulsos de comando devem estar defasados de  $120^\circ$  entre si e na mesma frequência. Os inversores trifásicos podem ser ligados em ponte, como na Figura 6, com o mesmo princípio de funcionamento dos monofásicos, porém os impulsos de comando devem ser levados a pares de tiristores seguindo uma seqüência. O transformador de saída, ligado em estrela-triângulo, permite uma melhor aproximação à onda senoidal do que o conjunto de 3 inversores monofásicos (FIGINI, 1982).

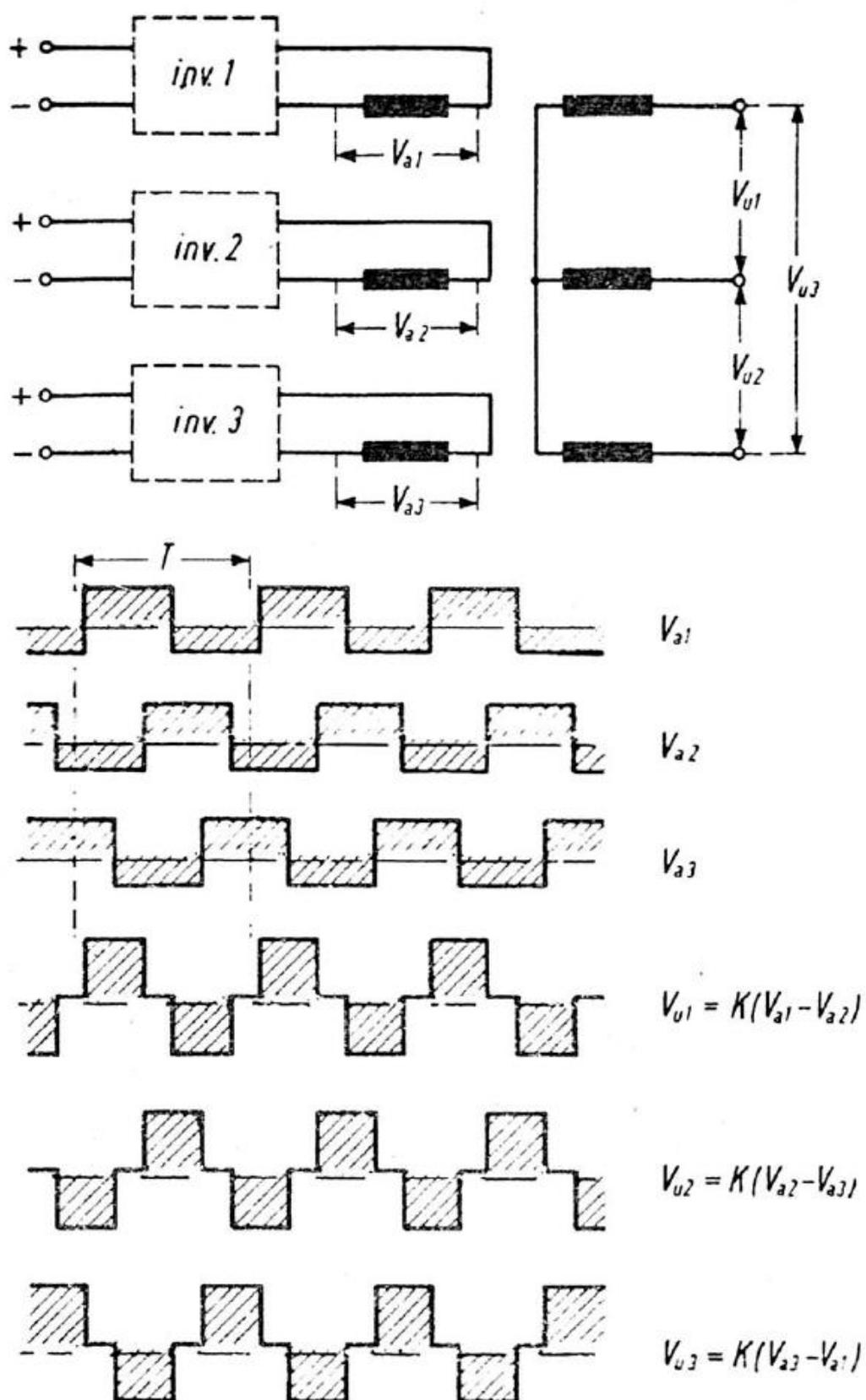


Figura 5 - Inversor trifásico, obtido com reagrupamento de três inversores monofásicos.

Fonte: Figini(1982).

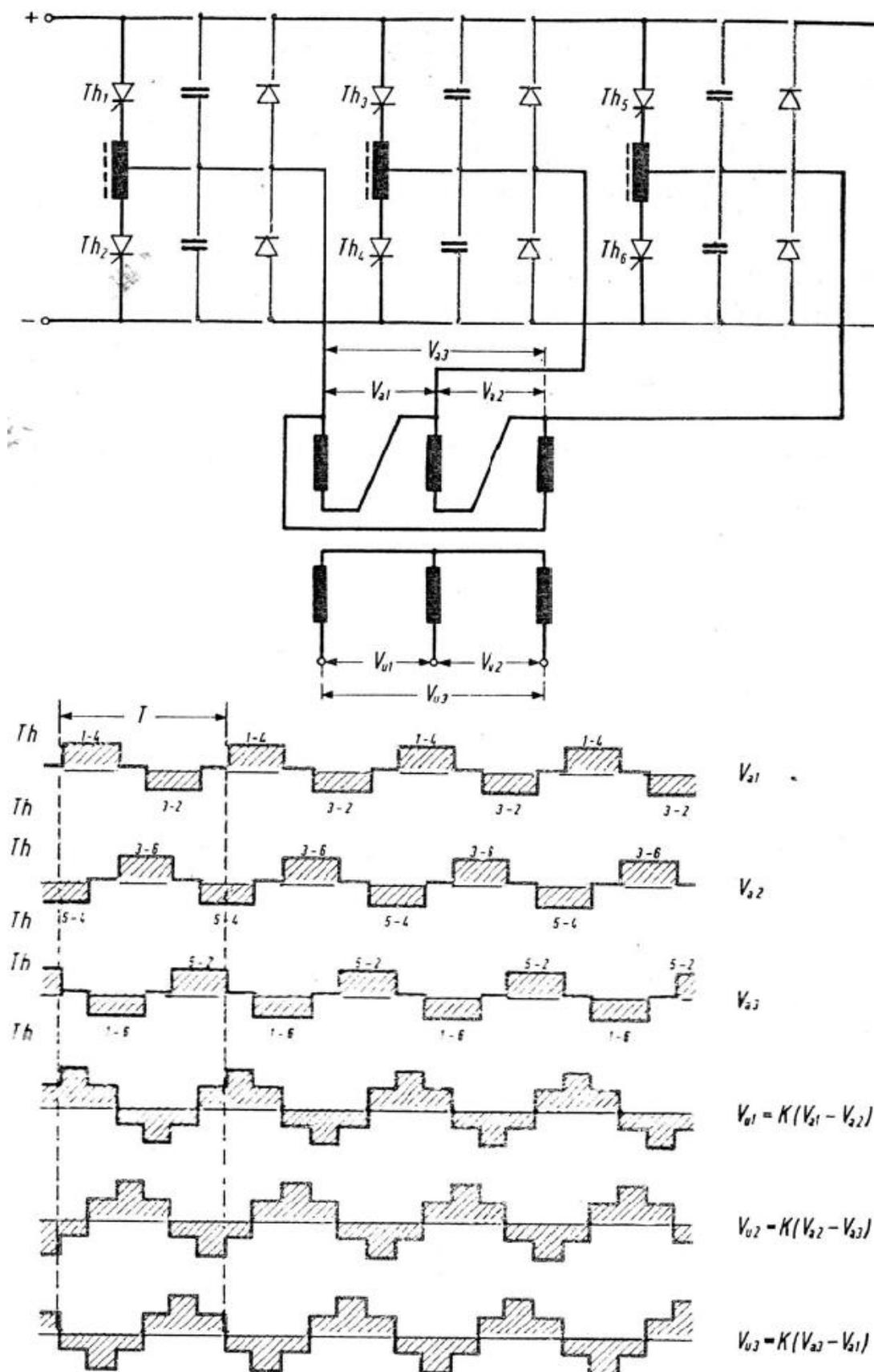


Figura 6 - Inversor trifásico em ponte.

Fonte: Figini(1982).

### 2.5.1.3 Inversores de frequência no acionamento de motores de indução

No acionamento de motores de indução, a função do inversor de frequência é, basicamente, manter o torque do motor e regular a sua velocidade, controlando a sua potência. Como a velocidade de rotação do motor é proporcional à frequência da rede que alimenta o motor, quanto maior for essa frequência maior será a rotação do motor. Portanto, o inversor de frequência é considerado uma fonte de tensão alternada com frequência variável (CAPELLI, 2000).

A primeira etapa do circuito de um inversor de frequência é constituída por uma ponte retificadora trifásica e capacitores, que funcionarão como filtros, esse circuito proporcionará dois valores de tensões contínuas opostas (+V e -V) e um ponto terra de referência, formando, assim, o barramento CC. Este barramento alimentará a segunda etapa do inversor, um circuito com 6 transistores controlados pelo circuito de lógica da terceira etapa que ligam e desligam os transistores de modo a formar três ondas quadradas na saída do inversor defasada de 120° uma da outra, muito próxima à três ondas senoidais (CAPELLI, 2000).

Os inversores de frequência normalmente trabalham na faixa de 5 a 300 Hz. Para variar a frequência e manter o torque constante no motor o inversor deve manter a razão  $V/f$  constante, ou seja, cada vez que ele variar a frequência do sistema ele deverá alterar a tensão na mesma proporção. Essa variação de tensão é feita através da modulação por largura de pulso (PWM), controlada pelo circuito de lógica, na terceira etapa do inversor. O Valor de  $V/f$  pode ser parametrizado em um inversor. Para baixas rotações e torque grande o valor de  $V/F$  é elevado, já com rotação elevada e torque pequeno o valor de  $V/f$  é baixo (CAPELLI, 2000).

Como o inversor de frequência atua na velocidade, a potência fornecida pelo motor à carga varia de forma otimizada, aumentando o rendimento do sistema composto pelo motor e inversor de frequência, além disso, inversores e motores operando em condições nominais já apresentam um rendimento elevado por si só, normalmente acima de 95%. Inversores estáticos de frequência são aplicados para todos os tipos de carga, as de torque variável em baixas rotações e as de torque constante sem a utilização de motores adicionais ou outros sistemas para a variação da velocidade, que induziriam perdas no sistema (WEG, 2010).

O inversor de frequência é considerado um bom mecanismo de acionamento de motores, porém, devido à modulação PWM e à frequência de chaveamento do

inversor, o motor de indução será submetido a tensões harmônicas, que podem levar ao aumento das perdas, elevação da temperatura, aumento dos níveis de ruídos e vibrações e a perda de rendimento do motor (WEG, 2010).

A modulação por largura de pulso normalmente varia de 2 a 16 kHz nos inversores de frequência. Para evitar perdas por interferências eletromagnéticas no motor as frequências menores são as melhores, porém estas mesmas frequências geram ruídos sonoros no motor. Portanto, deve ser feito um estudo avaliando o rendimento do motor e o nível de ruído suportável pelo ambiente onde o motor estará instalado para definir qual o melhor PWM para o inversor (CAPELLI, 2000).

Para o correto funcionamento do inversor, além de bem instalado ele deve estar corretamente parametrizado, isto é, programar em que condições ele irá funcionar. Quanto mais recursos o inversor tiver, mais parâmetros ele apresentará também. Os principais parâmetros são:

- Tensão nominal do motor: este é um dos principais parâmetros de um inversor, pois indica qual tensão ele deve fornecer ao motor;
- Frequência máxima de saída: determina a velocidade máxima do motor;
- Frequência mínima de saída: determina a velocidade mínima do motor;
- Frequência de JOG: é um recurso que faz com que o motor gire com velocidade bem baixa, possibilitando o posicionamento de peças antes de o motor funcionar efetivamente;
- Tempo de partida (rampa de subida): tempo para o motor chegar à velocidade programada partindo da velocidade zero;
- Tempo de parada: possibilita uma parada gradativa no motor;
- Frequência de PWM: determina a frequência de PWM do motor, normalmente de 2 a 16 kHz (CAPELLI, 2000).

#### 2.5.1.4 Inversores de frequência alimentados no barramento CC

Alguns modelos de inversores podem ser alimentados no barramento CC, visando atender situações específicas onde seria mais viável alimentá-lo assim. Um desses casos é a utilização de inversores para a configuração de sistemas regenerativos, onde uma unidade retificadora regenerativa é ligada diretamente ao barramento CC do inversor que irá alimentar a rede elétrica, como apresentado na Figura 7. Esta solução permite aproveitamento total da energia gerada na frenagem regenerativa, proporcionando ao sistema um fator de potência igual a 1, além de eliminar os harmônicos na entrada do inversor, melhorando o seu rendimento (WEG, 2008).

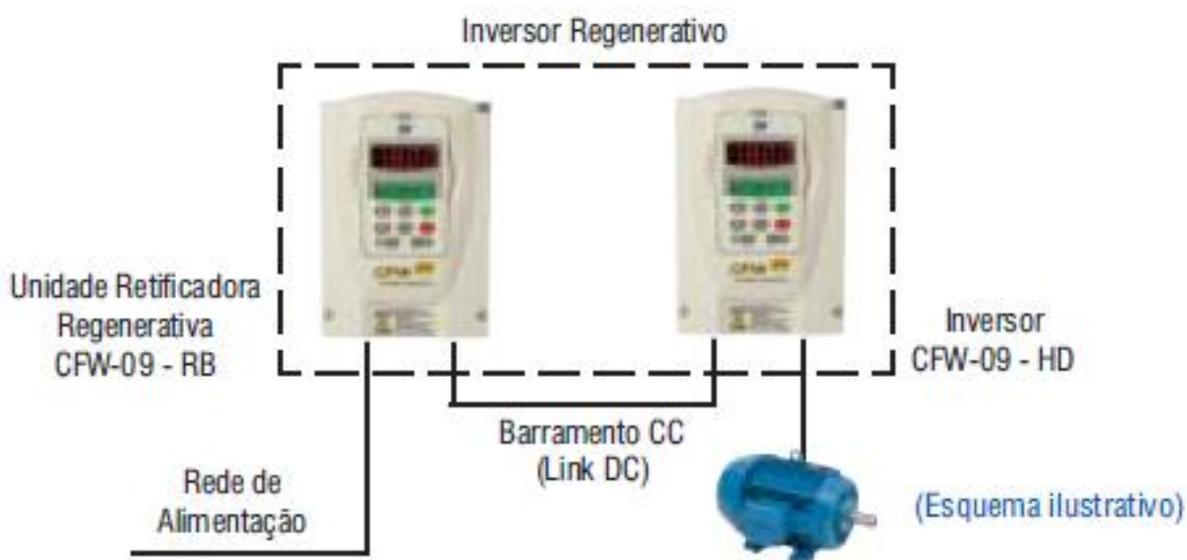


Figura 7- Esquema ilustrativo de inversor regenerativo.

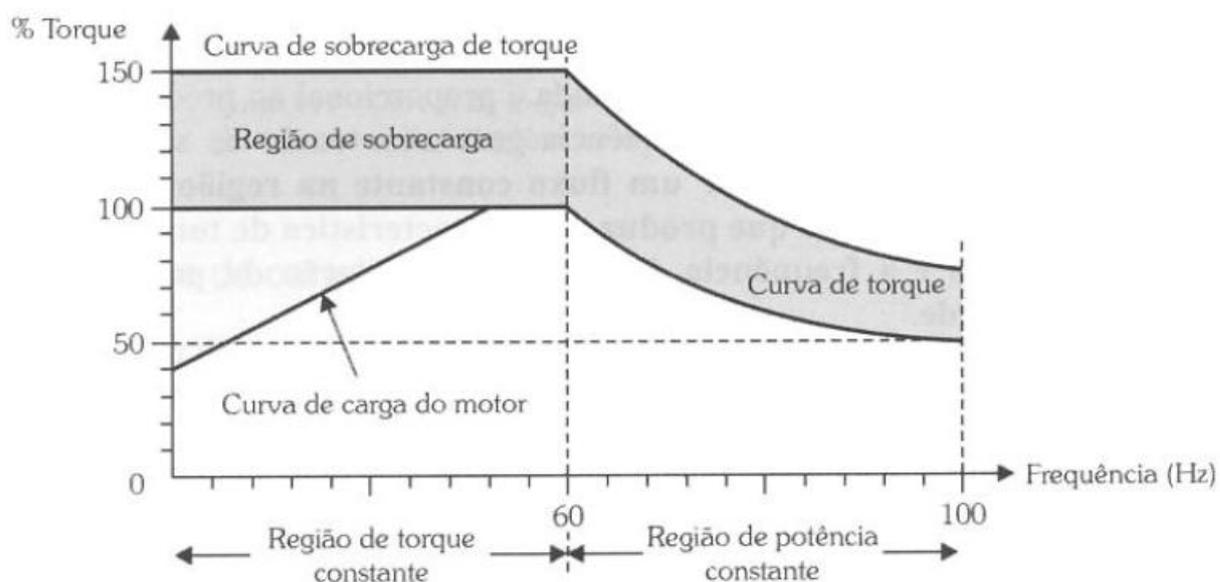
Fonte: WEG (2008).

#### 2.5.1.5 Dimensionamento de inversores:

Os catálogos de fabricantes ajudam no dimensionamento de um inversor, porém o grande desafio é encontrar o que ofereça o melhor custo/benefício. Dentre vários critérios avaliados na escolha do equipamento, alguns merecem ser citados, como: o torque de partida necessário, a faixa de velocidades em que o inversor

opera, tensão da rede de alimentação, regime de serviço e o tipo de paragem (FRANCHI, 2009).

Para o correto dimensionamento do inversor é imprescindível que o motor que ele vai alimentar seja escolhido corretamente, pois o dimensionamento do conversor será feito baseado nas características do motor, e contará com catálogos de fabricantes facilitando a escolha do modelo adequado. Além disso, o inversor deve ser escolhido de acordo com o tipo da carga. No exemplo de bombas centrífugas, que têm seu torque variável, sendo muito baixo na partida e aumentando com o quadrado da velocidade, deve-se verificar se o torque do motor, alimentado pelo inversor, será sempre superior ao exigido pela carga. Esses valores podem ser verificados na curva torque x frequência, ilustrada na Figura 8 (FRANCHI, 2009).

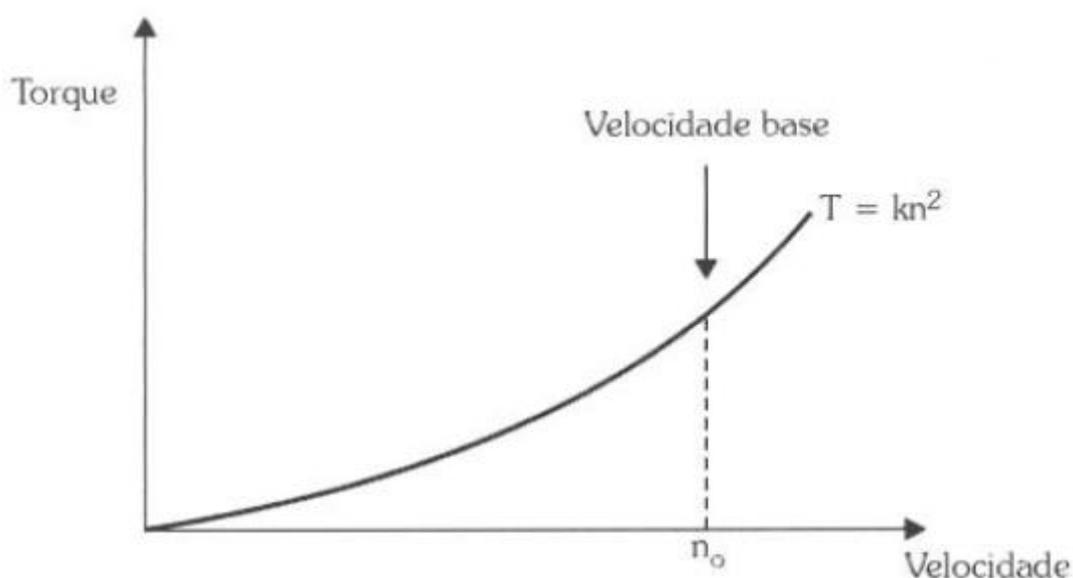


**Figura 8 - Curva torque x frequência para motor de indução**

Fonte: Franchi (2009).

Cargas com torque variável apresentam curvas características como a apresentada na Figura 9, esse tipo de carga é muito comum entre bombas centrífugas e ventiladores, e o uso de inversores nessas ocasiões é uma de suas mais simples aplicações, porém apresenta alguns inconvenientes. O torque de partida dessas cargas é muito baixo comparado à máquinas de torque constante, então a corrente também será mais baixa, fazendo com que a proteção de sobrecarga não atue, ou atue tardiamente. Para corrigir tal inconveniente, alguns

fabricantes adicionaram funções específicas nos inversores para este tipo de partida, diminuindo a faixa de atuação da proteção no momento da partida (FRANCHI, 2009).



**Figura 9 - Característica torque x velocidade de uma carga com torque variável**

**Fonte: Franchi (2009).**

## 2.6 MECANISMOS DE ACIONAMENTOS DE BOMBAS

O termo bomba é designado a equipamentos capazes de transferir a energia de uma fonte para um líquido, de maneira que o líquido passa a realizar determinado trabalho desejado (MONACHESI, 2005).

“As bombas hidráulicas são máquinas destinadas à elevação da água ou outro fluido, utilizando energia mecânica externa (motor elétrico ou térmico, força manual, etc.).” (CREDER, 1991, p. 49)

As bombas hidráulicas podem ser divididas em dois grupos principais: bombas de deslocamento positivo (volumógenas) e turbobombas (também conhecidas por rotodinâmicas; hidrodinâmicas ou dinâmicas) (MONACHESI, 2005).

As bombas de deslocamento positivo são utilizadas comumente em caminhões betoneira das centrais de concreto, chamadas bombas de concreto. Já as turbobombas são as mais comuns no abastecimento de água, podendo ser bombas centrífugas, mistas ou axiais (MONACHESI, 2005).

### 2.6.1 Bomba Centrífuga radial com acoplamento e único estágio

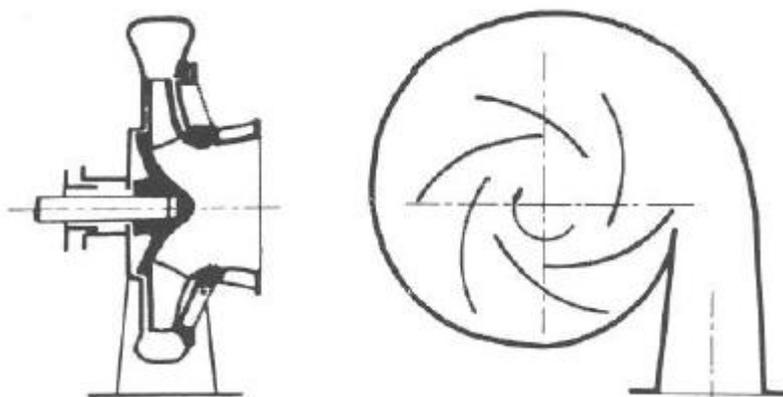
É, provavelmente, a bomba mais comum utilizada para abastecimentos hidráulicos. Este tipo de bomba recalca, normalmente, vazões entre 5 e 100 l/s (18 a 360 m<sup>3</sup>/h), com alturas manométricas que podem variar de 40 a 200 m.c.a em casos extremos (MONACHESI, 2005).

Nas bombas centrífugas radiais, segundo Macintyre (1997, p. 45), “o líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás para a periferia, segundo trajetórias contidas em planos normais ao eixo.”

A bomba centrífuga radial é classificada como de único estágio por possuir apenas um rotor, sendo que a energia é fornecida ao líquido em um único estágio, constituído por um rotor e um difusor (MACINTYRE, 1997).

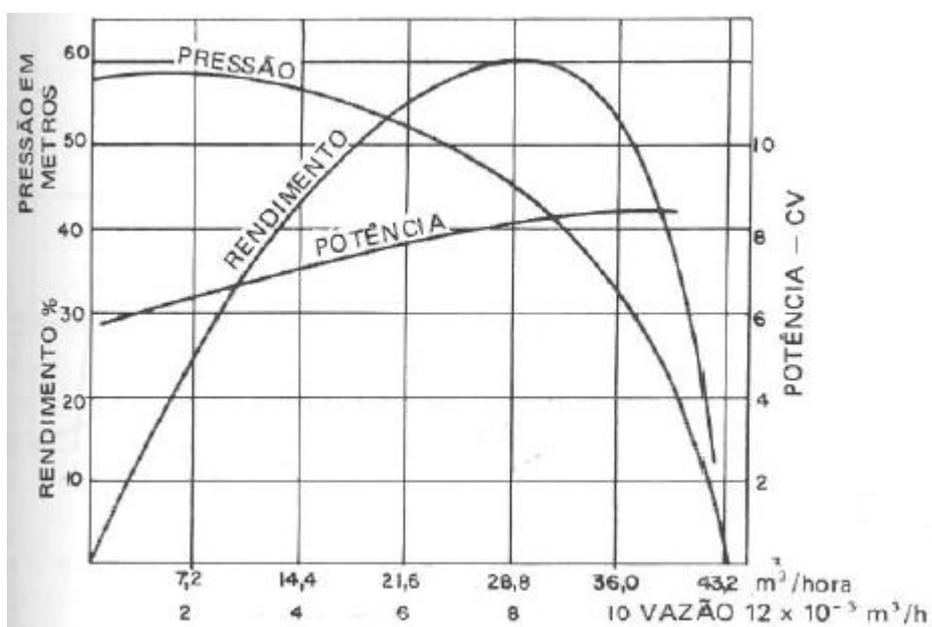
Este tipo de bomba pode ser aplicada em: abastecimento de água, drenagem, irrigação, indústria de álcool e açúcar, ar condicionado, instalações prediais e em combate a incêndios. Sua utilização é recomendada para bombeamento de água e de líquidos limpos ou turvos. Suporta até 140 m de elevação, temperaturas de até 105°C, com vazões até 700 m<sup>3</sup>/h e rotação de até 3500 rpm(KSB, 2003).

Nas bombas centrífugas, o fluido é impulsionado radialmente ao rotor, fazendo com que parte da energia cinética devida à velocidade do rotor transforme-se em energia potencial de pressão. Considera-se que as vazões são proporcionais à velocidade do rotor; as pressões são proporcionais ao quadrado da velocidade e as potências são proporcionais ao cubo da velocidade. Observa-se um exemplo de bomba centrífuga na Figura 10, e suas características em função da vazão na Figura 11(CREDER, 1991).



**Figura 10 - Bomba centrífuga**

Fonte: Creder (1991).



**Figura 11 - Características das bombas centrífugas em função da vazão**

Fonte: Creder (1991).

### 2.6.2 Consumo Predial

Estima-se o consumo residencial diário pela quantidade de quartos, considerando cada quarto social ocupado por duas pessoas e os quartos de serviço ocupados por uma pessoa (CREDER, 1991).

Segundo Creder (1991, p.10), a partir da população do prédio, calcula-se o consumo através da Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de água em edifícios

<i>Prédio</i>	<i>Consumo (litros)</i>
Alojamentos provisórios	80 per capita
Casas populares ou rurais	120 per capita
Residências	150 per capita
Apartamentos	200 per capita
Hotéis (s/cozinha e s/lavanderia)	120 por hóspede
Hospitais	250 por leito
Escolas – internatos	150 per capita
Escolas – externatos	50 per capita
Quartéis	150 per capita
Edifícios públicos ou comerciais	50 per capita
Escritórios	50 per capita
Cinemas e teatros	2 por lugar
Templos	2 por lugar
Restaurantes e similares	25 por refeição
Garagens	50 por automóvel
Lavanderias	30 por kg de roupa seca
Mercados	5 por m <sup>2</sup> de área
Matadouros – animais de grande porte	300 por cabeça abatida
Matadouros – animais de pequeno porte	150 por cabeça abatida
Fábricas em geral (uso pessoal)	70 por operário
Postos de serviço p/automóvel	150 por veículo
Cavaliarias	100 por cavalo
Jardins	1,5 por m <sup>2</sup>

Fonte: Creder (1991).

Em edifícios, o recalque da água normalmente é feito por bombas centrífugas acionadas por motores. Alguns parâmetros importantes para o dimensionamento da bomba são: altura manométrica, vazão e rendimento do conjunto motor-bombas que em instalações prediais é da ordem de 40% (CREDER, 1991).

Segundo Creder (1991, p. 63), a altura manométrica é igual à altura estática somada à altura devida as perdas, conforme a equação abaixo:

$$H_{MANOMÉTRICA} = H_{ESTÁTICA} + H_{PERDASS}$$

Onde:

$H_{MANOMÉTRICA}$  – soma total das alturas necessárias à elevação da água no recalque, em metros (m);

$H_{ESTÁTICA}$  – altura vertical ou pressão requerida para a elevação da água a contar da tubulação de recalque da bomba, em metros (m);

$H_{PERDASS}$  – altura devido às perdas relativas à resistência na tubulação e peças no recalque, em metros (m).

Ainda de acordo com Hélio Creder, para calcular a altura devida às perdas, é necessário o comprimento virtual da tubulação, calculado da seguinte forma:

$$L_v = L + L_{PERDAS}$$

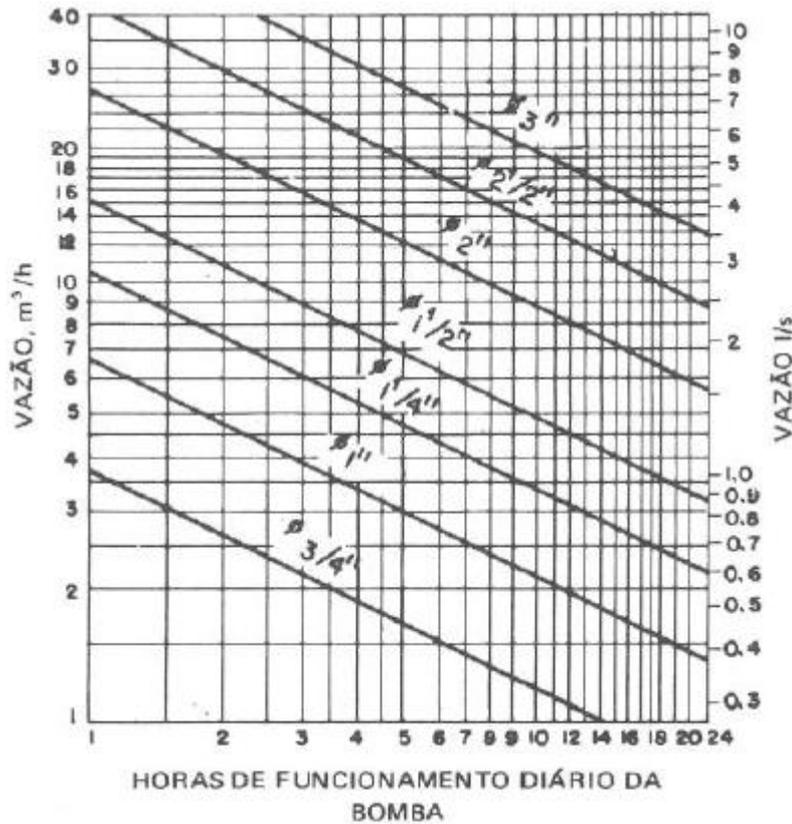
Onde:

$L_v$  – é o comprimento equivalente em metros (m);

$L$  – é o comprimento da tubulação em metros (m);

$L_{perdas}$  – é o comprimento devido às perdas acidentais (localizadas) em metros (m).

Para calcular as perdas localizadas é necessário o diâmetro das tubulações de recalque e de sucção, além do consumo diário de água no prédio. Segundo as normas de instalações hidráulicas, a capacidade horária mínima da bomba deve ser de 15% a 20% do consumo diário. Ao fixar o consumo diário da bomba e dividi-lo pela vazão horária, têm-se as horas de funcionamento diário. Em seguida, utiliza-se a vazão em  $m^3/h$  e as horas de funcionamento diário para encontrar o diâmetro de recalque, através do ábaco da Figura 12 (CREDER, 1991).



**Figura 12 - Ábaco para a determinação do diâmetro econômico (Forchheimer)**

**Fonte: Creder (1991).**

Obtém-se a declividade da linha piezométrica,  $J$ , a partir do diâmetro e da vazão relacionados no ábaco da Figura 13. A declividade  $J$  é a relação entre a altura devido às perdas e o comprimento equivalente, conforme a equação seguinte, utilizada para obter o  $H_{PERDAS}$  (CREDER, 1991).

$$J = \frac{H_{PERDAS}}{L_v}$$

Segundo Creder (1991, p. 63), com os dados obtidos, calcula-se então a potência do motor, através da equação:

$$P = \frac{d \cdot Q \cdot H_{MAN}}{75 \cdot \eta}$$

Onde:

$P$  = potência do motor, em CV

$d$  = densidade do líquido a ser transportado (água ou esgoto: 1.000kg/m<sup>3</sup>)

$H_{man}$  = altura manométrica, em metros

$Q$  = vazão, em m<sup>3</sup>/s

$\eta$  = rendimento do conjunto motor-bomba

Fórmula de Williams - Hazen -  $C=100$   
 $Q = 0,2785 CD^{2,63} J^{0,54}$

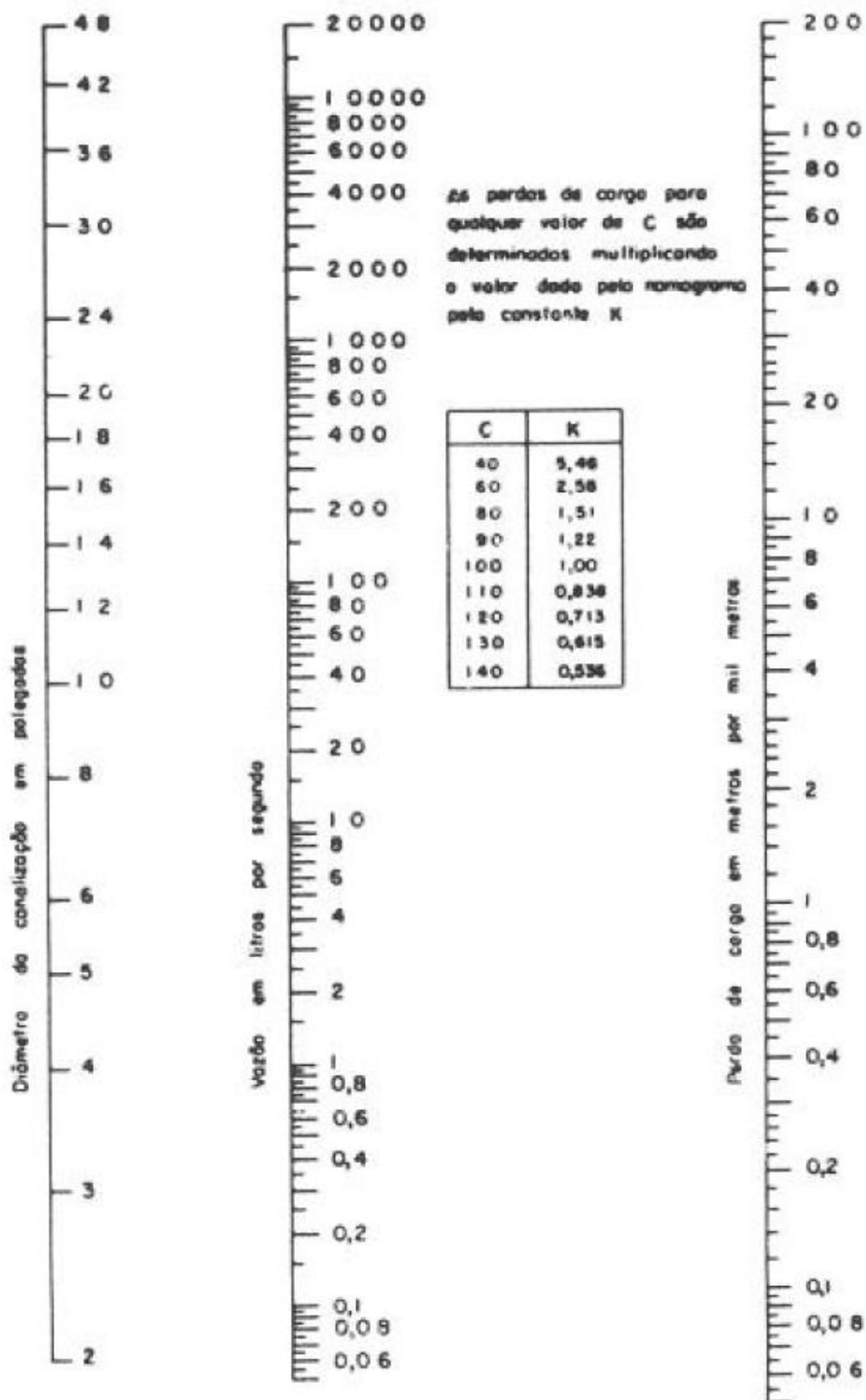


Figura 13 - Ábaco para cálculo de canalizações

Fonte: Creder (1991).

### 2.6.3 Acionamento por motores elétricos

As bombas podem ser acionadas por motores elétricos, sendo assim, é de extrema importância a escolha do motor correto, observando as questões de dimensionamento do motor como, a tensão de operação, o fator de potência, a corrente, o conjugado, a corrente de partida, fator de serviço, entre outros (MACINTYRE, 1997).

#### 2.6.3.1 Classificação dos motores

Os motores elétricos podem ser classificados de acordo com a natureza da corrente que os alimenta, podendo ser de corrente contínua ou alternada (MACINTYRE, 1997).

##### 2.6.3.1.1 Motores de corrente contínua

São utilizados em laboratórios de ensaios e pesquisa, com o intuito de fazer a bomba girar, com diversos valores do número de rotações para traçar curvas de vazão(Q), altura(H), velocidade(N) e rendimento( $\eta$ ) em função do número de rotações por minuto do motor( $n$ ). A classificação é realizada de acordo com sua modalidade construtiva, em Motores Shunt, Motores Série e Motores Compound (MACINTYRE, 1997).

A velocidade pode ser variada de diferentes maneiras, sendo que a mais comum é realizada pela variação da tensão aplicada ao induzido, ou pela variação do fluxo no entreferro alterando-se a corrente de campo. O valor da tensão é modificado com o emprego de um reostato, que varia o valor das resistências dispostas em série com o induzido (MACINTYRE, 1997).

Os motores de corrente contínua raramente são empregados em instalações de bombeamento, devido ao elevado custo (MACINTYRE, 1997).

### 2.6.3.1.2 Motores de corrente alternada

Os motores de corrente alternada mais empregados, segundo Macintyre (1997, p. 677), são:

- Motores Síncronos Polifásicos
- Motores Assíncronos ou de Indução Polifásicos

#### 2.6.3.1.2.1 Motores Síncronos

Nos motores síncronos, o estator é alimentado com corrente alternada, diferente do rotor, o qual é alimentado com corrente contínua proveniente de uma excitatriz, que normalmente é um pequeno dínamo montado no próprio eixo do motor (MACINTYRE, 1997).

Este tipo de motor não possui partida própria, sendo que, normalmente utiliza-se um motor de indução para auxiliar no estabelecimento da velocidade síncrona, sem a qual não deve-se submeter o motor à carga. Esta velocidade também pode ser obtida com o emprego de um motor de “lançamento” auxiliar, ou com partida com tensão reduzida, através de um autotransformador, reator ou resistência em série. Após o alcance da velocidade síncrona, o motor mantém a velocidade constante, independente da carga, desde que esta esteja dentro dos seus limites de capacidade. Caso seja necessário variar sua velocidade, deve-se mudar a frequência da corrente (MACINTYRE, 1997).

Segundo Macintyre (1997, p. 678), a aplicação destes motores geralmente abrange elevatórias de grande porte, e são indicados por serem mais econômicos para potências que excedem um cv por rpm. Porém, suas principais desvantagens, são:

- exigência de corrente contínua para sua excitação;
- sensibilidade às perturbações do sistema, podendo sair do sincronismo;
- reduzido valor do conjugado de partida;
- controle relativamente difícil.

### 2.6.3.1.2.2 Motores Assíncronos

Os motores de indução trifásicos são os mais comuns. Neles, a corrente que circula no rotor é induzida pelo movimento relativo entre os condutores do rotor e o “campo girante”, que é produzido através da variação da corrente no indutor fixo. Existem duas partes que são essenciais para os motores assíncronos, o indutor fixo e o rotor (MACINTYRE, 1997).

O indutor fixo (estator) é composto por um enrolamento alojado nas ranhuras existentes na periferia do núcleo de ferro laminado (carcaça). O “campo girante” é um campo magnético, que gira com a velocidade síncrona, gerado pela passagem da corrente trifásica, vinda da rede (MACINTYRE, 1997).

Já o rotor ou induzido, segundo Macintyre (1997, p. 678), pode ser de dois tipos:

1. Rotor bobinado (em anéis), que é composto por um núcleo ou tambor de ferro laminado, que possui ranhuras, onde se alojam enrolamentos semelhantes aos do estator, o que proporciona o mesmo número de pólos. Estes enrolamentos são ligados em “estrela”, sendo que as três extremidades do enrolamento unem-se a três anéis presos ao eixo, permitindo a introdução de resistências em série com as três fases do enrolamento na partida e colocando em curto-circuito os terminais nas condições de regime normal de funcionamento. Os rotores bobinados necessitam de um dispositivo que ligue em estrela na partida, três séries de resistências e que depois de atingida a velocidade máxima, sejam desligadas. Suas principais aplicações são ventiladores, bombas centrífugas, bombas de êmbolo, guindastes, compressores e esteiras transportadoras.
2. Rotor em curto-circuito ou gaiola de esquilo (*squirrel-cage*), composto por um núcleo com forma de tambor, com ranhuras onde se alojam fios ou barras de cobre, que são postas em curto-circuito em suas extremidades por anéis de bronze.

A corrente no estator induz um campo girante no interior do qual se encontra o rotor. O fluxo deste campo girante atravessa os condutores do rotor, induzindo forças eletromotrizes as quais originam correntes elétricas, que por sua vez, reagem sobre o campo girante, produzindo um conjugado motor que faz o rotor girar no

mesmo sentido que o campo. Conforme a Lei de Lenz “as correntes induzidas tendem a opor-se à causa que as originou”. É importante esclarecer que a velocidade do rotor nunca pode igualar-se à velocidade do campo, ou seja, à velocidade síncrona, pois assim os condutores do rotor não seriam cortados pelas linhas de força do campo girante, o que inibiria a produção das correntes induzidas e do conjugado motor. Por este motivo, chamam-se motores assíncronos. Em situações de funcionamento sem carga, o escorregamento é pequeno, pois o rotor gira com velocidade próxima à síncrona. Porém, com carga, o rotor se atrasa mais em relação ao campo girante. Assim, são induzidas correntes elevadas para a produção do conjugado necessário. A plena carga o escorregamento normalmente está compreendido entre 5 a 10% (MACINTYRE, 1997).

A corrente absorvida da linha pelo motor em gaiola no momento da partida pode chegar a seis vezes da corrente de plena carga, porém desenvolve um conjugado motor cerca de 1,5 vezes ao da plena carga, o que é uma vantagem para a partida das máquinas (MACINTYRE, 1997).

Para a variação da velocidade dos motores assíncronos torna-se necessário o uso de motor de indução com rotor bobinado, no qual devem-se variar as resistências externas ao rotor para poder variar a velocidade. Para que os motores do tipo gaiola tenham velocidades múltiplas, deve-se permitir a variação do número de pólos do enrolamento do estator graças a enrolamentos adicionais. Alguns variadores de velocidade especiais também podem ser utilizados (MACINTYRE, 1997).

#### 2.6.3.2 Escolha do Motor

A escolha do motor a ser utilizado é realizada a partir da variação da velocidade pretendida. Alguns critérios devem ser considerados para a escolha do motor adequado. O Quadro 1 relaciona as respostas da velocidade associadas com o tipo de motor escolhido, enquanto o Quadro 2 relaciona o tipo de motor com a sua resposta de velocidade, conjugado de partida e onde pode ser utilizado (MACINTYRE, 1997).

Quadro 1 - Caracterização da velocidade conforme o tipo de motor

	Corrente alternada	Corrente contínua
Velocidade aproximadamente constante, desde a carga zero até a plena carga	Motor de indução ou síncrono	Motor shunt
Velocidade semiconstante, da carga zero a plena carga	Motor de indução com elevada resistência do rotor	Motor compound
Velocidade variável, decrescente com o aumento de carga	Motor de indução com a resistência do rotor ajustável	Motor série

Fonte: Macintyre (1997).

Quadro 2 - Velocidade e conjugado conforme o tipo de motor

Tipo de motor	Velocidade	Conjugado de partida	Emprego
Indução, de gaiola trifásico	Aproximadamente constante	Conjugado baixo. Corrente elevada	Bombas, ventiladores, máquinas ferramentas
Indução, de gaiola com elevado deslizamento	A velocidade decresce rapidamente com a carga	Conjugado maior que o anterior. Corrente de partida menor	Pequenos guinchos, pontes rolantes, serras etc.
Rotor bobinado	Com a resistência de partida desligada, semelhantes ao primeiro caso. Com a resistência inserida, a velocidade pode ser ajustada a qualquer valor, embora com sacrifício do rendimento	Conjugado maior do que os dos casos anteriores	Compressores de ar, guinchos, pontes rolantes, elevadores etc.

Fonte: Macintyre (1997).

Nas elevatórias, bombas são associadas em paralelo para possibilitar o atendimento da vazão demandada, que em algumas situações pode atingir limites bastante afastados. Com o emprego das bombas com motores de velocidade variável, diminui-se a quantidade de unidades a instalar, visto que apenas um grupo atende a um amplo campo de variação da vazão, com rendimento satisfatório, sendo, portanto, a solução adequada para linhas de recalque longas, com pequenas alturas estáticas e acentuadas parcelas de perda de carga, pois nestas condições a

associação em paralelo deixaria a desejar. Variar o número de rotações das bombas permite, ainda, o bombeamento diretamente da rede. Entretanto, apesar de algumas vantagens, os grupos motor-bombas de velocidade variável possuem um alto custo (MACINTYRE, 1997).

### 2.6.3.3 Tensão de operação nos motores das bombas

As tensões usuais dos motores elétricos acoplados às bombas elevatórias em função das potências são demonstradas na Tabela 2.

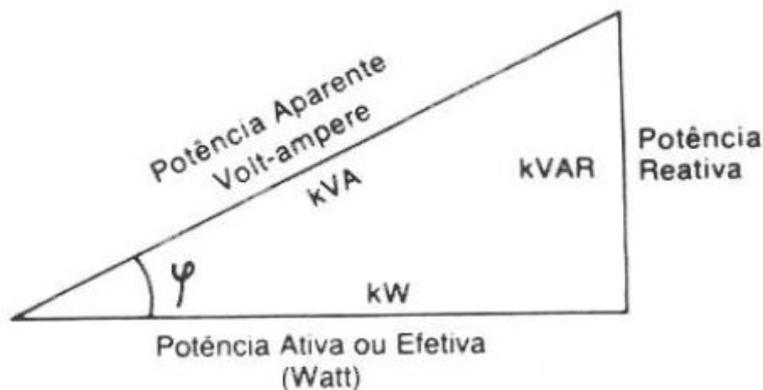
**Tabela 2 - Potência e tensão de motores elétricos**

Potência (cv)	Tensão (volt)
Até 200	220
1 a 1.000	380 ou 440
50 a 6.000	2.300
100 a 7.500	4.000
250 a 8.000	4.600
400 sem limite superior	6.600

Fonte: Macintyre (1997).

### 2.6.3.4 Fator de Potência

Em circuitos que utilizam-se do acoplamento magnético, como por exemplo, os motores de indução das bombas, observa-se que a potência total fornecida, ou seja, a corrente multiplicada pela diferença de potencial, se medidas, respectivamente, por um amperímetro e um voltímetro, será diferente do valor da potência medida por um wattímetro. Isto ocorre porque a potência total ou aparente resulta da composição da potência ativa com a potência reativa, conforme ilustra a Figura 14. Chama-se Fator de Potência o cosseno do ângulo formado entre a potência aparente e a potência ativa, representado na Figura 14 pelo símbolo  $\varphi$  (MACINTYRE, 1997).



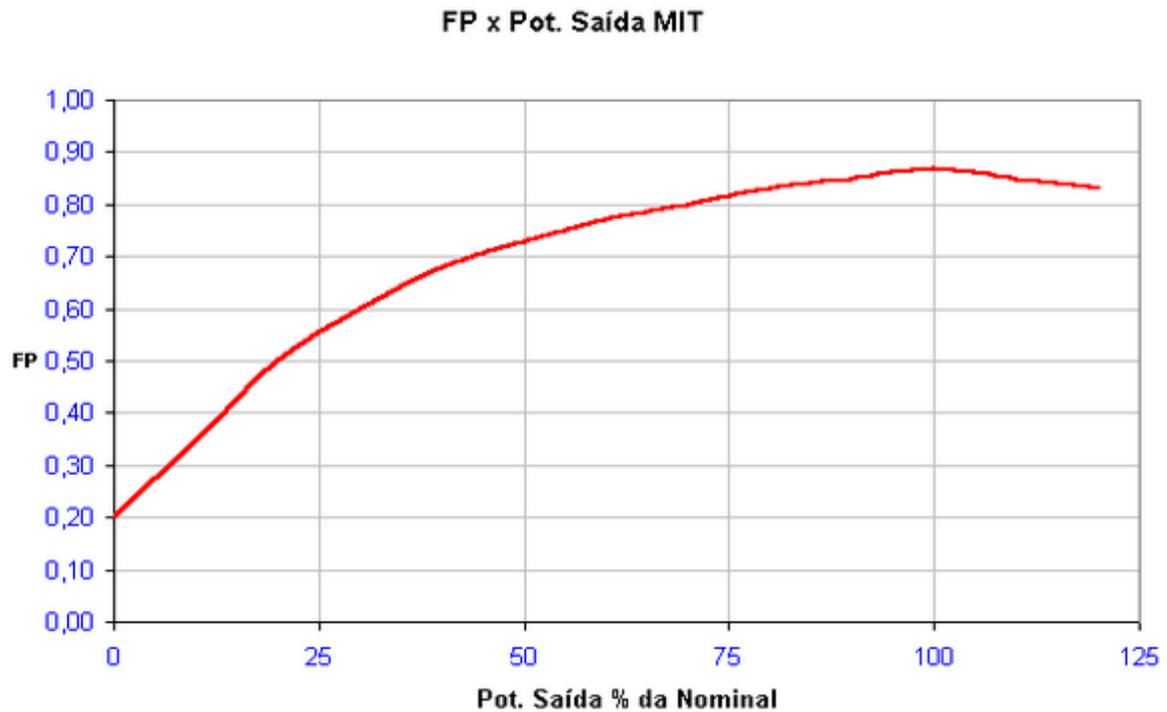
**Figura 14 - Representação vetorial das potências**

**Fonte: Macintyre (1997).**

Considerando que a corrente ativa ( $I_{ativo}$ ) é obtida pela multiplicação da corrente total ( $I_{total}$ ) pelo  $\cos(\varphi)$ , observa-se que quanto maior o valor do fator de potência, proporcionalmente menor será o valor de  $I_{total}$  para um mesmo valor de  $I_{ativo}$ . Os condutores e equipamentos elétricos são dimensionados de acordo com o  $I_{total}$ , de maneira a obter, para uma mesma potência útil (kW), o menor valor possível de potência total (kVA), o que ocorre quando os valores de  $I_{total}$  e  $I_{ativo}$  são iguais, o que significa que o fator de potência tem valor unitário. Quanto menor o valor do fator de potência, maiores as seções dos condutores necessários, assim como deverão ser maiores as capacidades de transformadores e disjuntores (MACINTYRE, 1997).

Sendo assim, percebe-se que é de suma importância a escolha criteriosa da potência do motor da bomba, para que opere em condições favoráveis de consumo de energia. Uma solução para melhorar o fator de potência é utilizar capacitores, que estabelecem o avanço da corrente sobre a tensão, neutralizando o efeito da corrente em atraso (indutiva) do motor. Pode-se também utilizar capacitores síncronos, ou seja, motores síncronos sobreexcitados, pois quando a corrente da excitatriz é elevada, há um aumento na chamada f.c.e.m. (força contra-eletromotriz), o que faz a corrente absorvida na linha ficar em avanço sobre a voltagem aplicada (MACINTYRE, 1997).

Observa-se na Figura 15 uma curva característica, que relaciona a porcentagem da potência de saída nominal com o fator de potência em um motor de indução trifásico (MIT).



**Figura 15 - Curva característica do fator de potência em um motor de indução trifásico**

Fonte: Dutra

#### 2.6.3.5 Corrente no Motor Trifásico

Em um motor trifásico, a corrente que produz potência média positiva ou motriz é a ativa ou “wattada”. A corrente reativa, ou “dewattada” não é utilizável, pois produz potência média nula. A potência ativa em um circuito trifásico é dada pela multiplicação de tensão ( $U$ ), corrente ( $I\sqrt{3}$ ) e pelo fator de potência ( $\cos(\varphi)$ ), conforme a equação seguinte (MACINTYRE, 1997).

$$P_{ENTRADA} = U \cdot I\sqrt{3} \cdot \cos(\varphi)$$

Onde:

$P_{ENTRADA}$  – potência elétrica em Watts (W);

$U$  – tensão em Volts (V);

$I$  – corrente em Ampères (A);

$\cos(\varphi)$  – fator de potência.

Já a potência no eixo do motor é dada pela seguinte equação:

$$P_{SAÍDA} = \frac{P_{ENTRADA} \cdot \eta}{736}$$

Onde:

$P_{SAÍDA}$  – potência mecânica em c.v.;

$\eta$  – rendimento do motor.

A partir da potência nominal no eixo do motor (potência mecânica), obtém-se a corrente nominal, que é a corrente de plena carga consumida pelo motor quando este fornece a potência nominal a uma carga (MACINTYRE, 1997).

$$I_{NOMINAL} = \frac{P_{SAÍDA} \cdot 736}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\varphi) \cdot \eta}$$

Onde:

$I_{NOMINAL}$  – corrente nominal em Ampères (A);

$P_{SAÍDA}$  – potência mecânica em c.v.;

$U$  – tensão em Volts (V);

$\cos(\varphi)$  – fator de potência;

$\eta$  – rendimento do motor.

É conveniente observar que, para o dimensionamento dos condutores elétricos do ramal do motor, torna-se necessário multiplicar a corrente nominal do motor pelo “fator de serviço”, prevendo desta maneira a corrente de sobrecarga admissível para o funcionamento continuado do motor (MACINTYRE, 1997).

### 2.6.3.6 Conjugado do Motor Elétrico

O motor exerce sobre o seu eixo um conjugado (M), também chamado de torque ou momento motor, sendo que, se  $n$  é o número de rotações por minuto do eixo, o conjugado pode ser obtido através da seguinte equação (MACINTYRE, 1997).

$$P_{SAÍDA} = \frac{M}{75} \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \text{ou} \quad P_{SAÍDA} = \frac{M \cdot n}{716}$$

Onde:

$P_{SAÍDA}$  – potência mecânica em c.v.;

$M$  – conjugado do motor em kgf.m;

$n$  – número de rotações por minuto em rpm.

Os motores elétricos de indução variam o seu conjugado em função da rotação do seu eixo, tomado como um percentual da sua velocidade síncrona. Para que o motor acelere a bomba até a velocidade normal ou de regime, é necessário que o conjugado motor ( $M$ ) seja maior que o conjugado resistente oferecido pela bomba. Na Figura 16 pode-se observar a curva  $M_m = \varphi(n)$ , do conjugado resistente da bomba, que deve possuir suas ordenadas inferiores às da curva do conjugado do motor elétrico. O ponto em que as duas curvas se cruzam corresponde à velocidade nominal, ou seja, a velocidade síncrona menos o escorregamento (MACINTYRE, 1997).

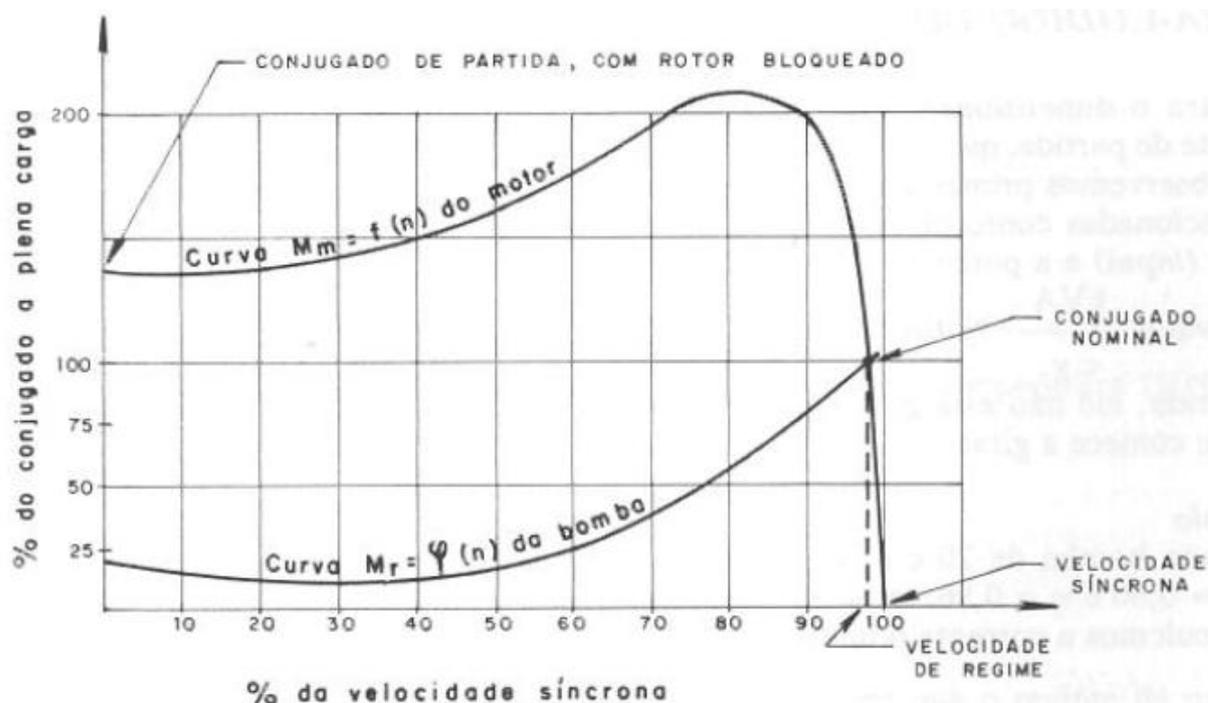


Figura 16 - Curvas dos conjugados do motor e de uma bomba centrífuga em função da velocidade

Fonte: Macintyre (1997).

### 2.6.3.7 Corrente de Partida no Motor Trifásico

No momento da partida de um motor de indução a corrente consumida é maior que a corrente nominal a plena carga. O quanto a corrente de partida é maior que a nominal depende das características construtivas de cada motor. Esta situação é chamada “rotor bloqueado”, pois a corrente de rotor bloqueado independe

da carga que o motor aciona. Quanto menor a carga a que o motor está submetido, mais rapidamente decrescerá a corrente, ou seja, o motor acelera até atingir a velocidade de regime mais rapidamente quanto menor for o conjugado resistente que se opõe a ele (MACINTYRE, 1997).

Na placa do motor consta a informação do fator  $I_p/I_n$ , que indica quantas vezes a corrente de partida é maior que a nominal, sendo que este número costuma variar de seis a oito vezes a corrente nominal do motor (FRANCHI, 2009).

Pode-se observar na Figura 17 que, para um motor de indução em gaiola, trifásico, ao dar a partida, o motor consome mais de 600% da corrente a plena carga. Como a aceleração é efetuada em um tempo reduzido, o motor suporta a sobrecarga elevada que ocorre nesta fase, sem aquecer de maneira exagerada (MACINTYRE, 1997).

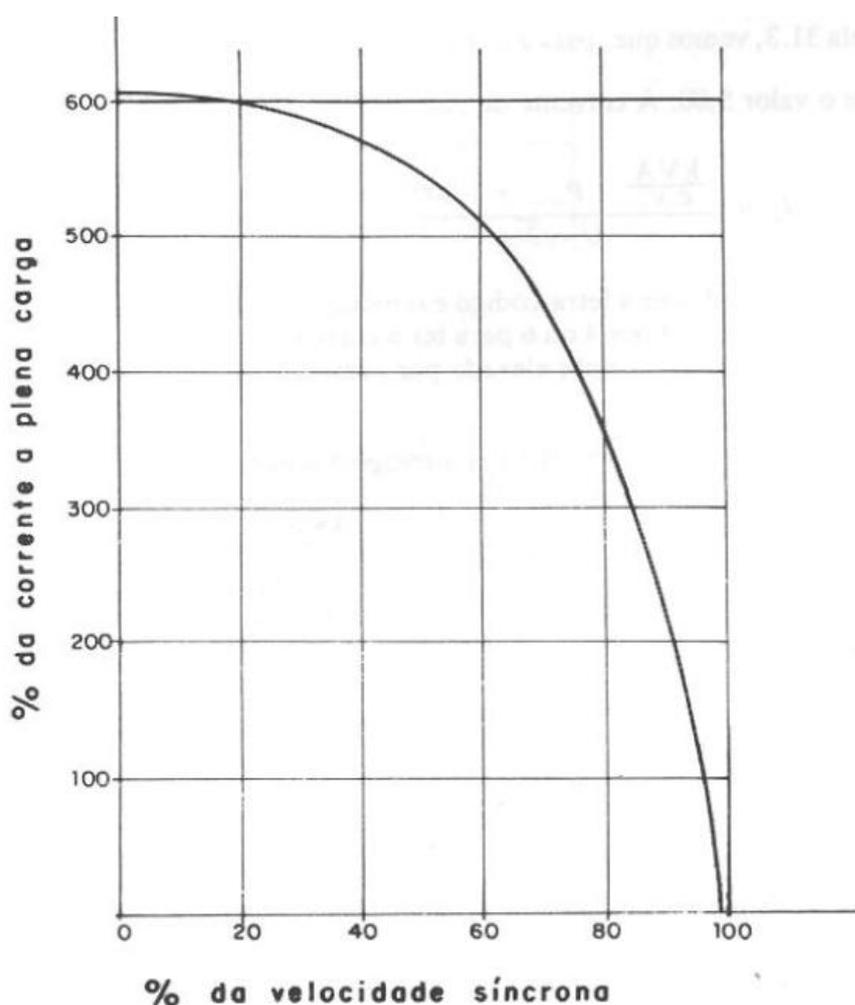


Figura 17 - Curva de variação da corrente em função da velocidade síncrona (valores percentuais)

Fonte: Macintyre (1997).

### 2.6.3.8 Rendimento ( $\eta$ )

Segundo Franchi (2009, p. 32), “é a relação entre a potência fornecida pelo motor e a potência ativa solicitada pelo motor à rede”, podendo ser expressa pela equação seguinte.

$$\eta = \frac{P_{SAÍDA}}{P_{ENTRADA}}$$

Onde:

$P_{ENTRADA}$  – potência elétrica em Watts (W);

$P_{SAÍDA}$  – potência mecânica em c.v..

Com a aplicação da carga ao motor, o rendimento aumenta, podendo alcançar 96% em máquinas de grande potência. Para analisar o rendimento das máquinas deve-se levar em conta duas curvas: o rendimento do motor em função de sua potência nominal e em função da potência no seu eixo (FRANCHI, 2009).

Em situações onde a potência nominal da máquina é pequena, comparativamente suas perdas são elevadas, o que conduz a rendimentos relativamente menores. De maneira geral, pode-se dizer que o rendimento aumenta quando a potência nominal também se eleva, conforme pode-se notar na Figura 18 e na Tabela 3 (FRANCHI, 2009).

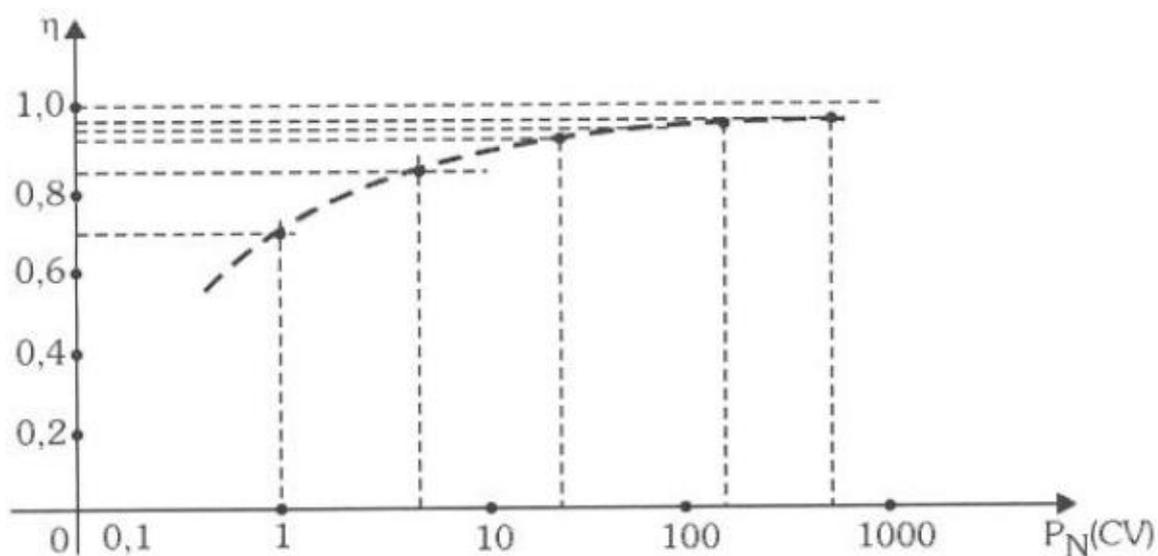


Figura 18 - Rendimento do motor em função de sua potência nominal

Fonte: Franchi (2009).

Tabela 3 - Rendimento em função da potência nominal

Potência nominal (CV)	Rotação (RPM)	Rendimento	Fator de potência
1,0	1705	69%	0,66
5,0	1730	83%	0,80
25,0	1750	90%	0,84
125,0	1770	92%	0,88
500,0	1785	95%	0,91

Fonte: Franchi (2009).

Para um mesmo motor, à medida que se aplica carga ao seu eixo, maior será o seu rendimento. Sendo assim, quanto mais próximo da carga nominal, maior o rendimento da máquina. O gráfico da Figura 19 ilustra uma curva do rendimento em função da potência aplicada ao eixo de um motor de indução trifásico, 5 c.v. e 3470rpm (FRANCHI, 2009).

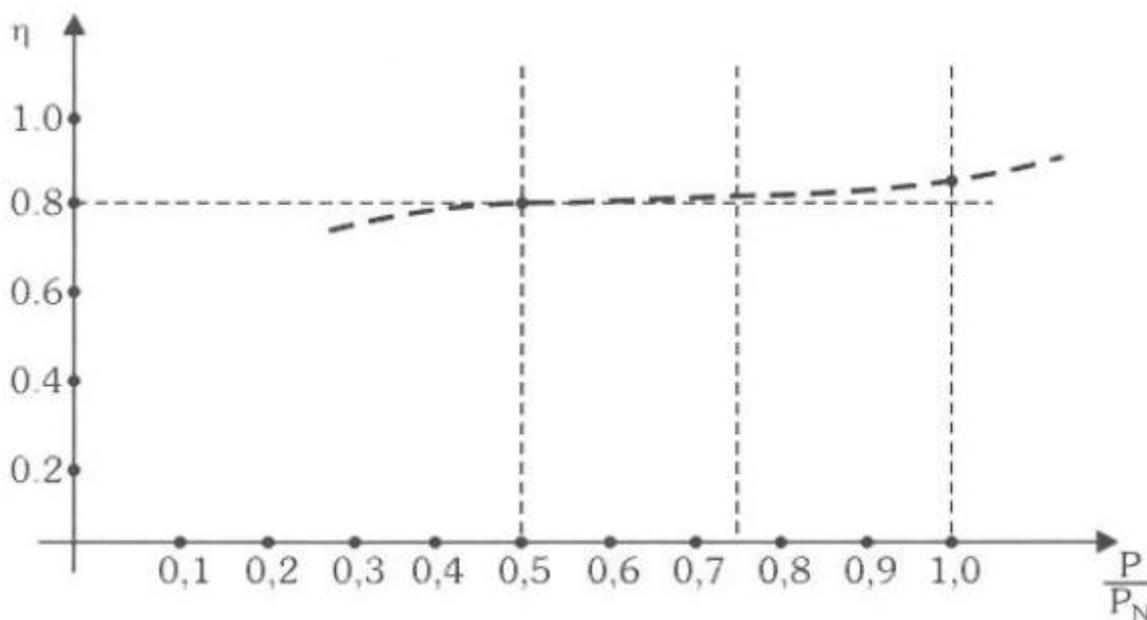


Figura 19 - Rendimento em função da potência aplicada ao motor

Fonte: Franchi (2009).

### 2.6.3.9 Escorregamento

É a diferença entre a velocidade no motor e a velocidade síncrona, podendo ser expresso em rpm, como fração da velocidade síncrona ou porcentagem desta. O escorregamento diminui à medida que aumenta a potência nominal do motor (FRANCHI, 2009).

### 2.6.3.10 Fator de Serviço (FS)

“Chama-se fator de serviço (FS) o fator que, aplicado à potência nominal, indica a sobrecarga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor sob condições especificadas.” (FRANCHI, 2009, p. 43)

Pode-se dizer ainda que, o fator de serviço representa a capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que possibilita ao motor as condições de funcionamento em situações desfavoráveis (FRANCHI, 2009).

Segundo Macintyre (1997, p. 688), o FS conduz ao valor de uma potência, tolerável para períodos não muito longos de funcionamento, ou seja, sem que ocorra um aquecimento incompatível com a classe de isolamento do motor.

### 2.6.3.11 Variação do Conjugado de Partida das Turbobombas

É importante conhecer a forma de variação do conjugado de partida da bomba, para realizar a comparação com o do motor elétrico, com o qual se pretende acioná-la. Observa-se na Figura 20, a variação da porcentagem do conjugado nominal de partida da bomba, absorvido pelo motor, em função da velocidade, de acordo com o tipo de turbobomba. As curvas representam situações de partida com o registro de recalque fechado, com exceção de onde está indicado (MACINTYRE, 1997).

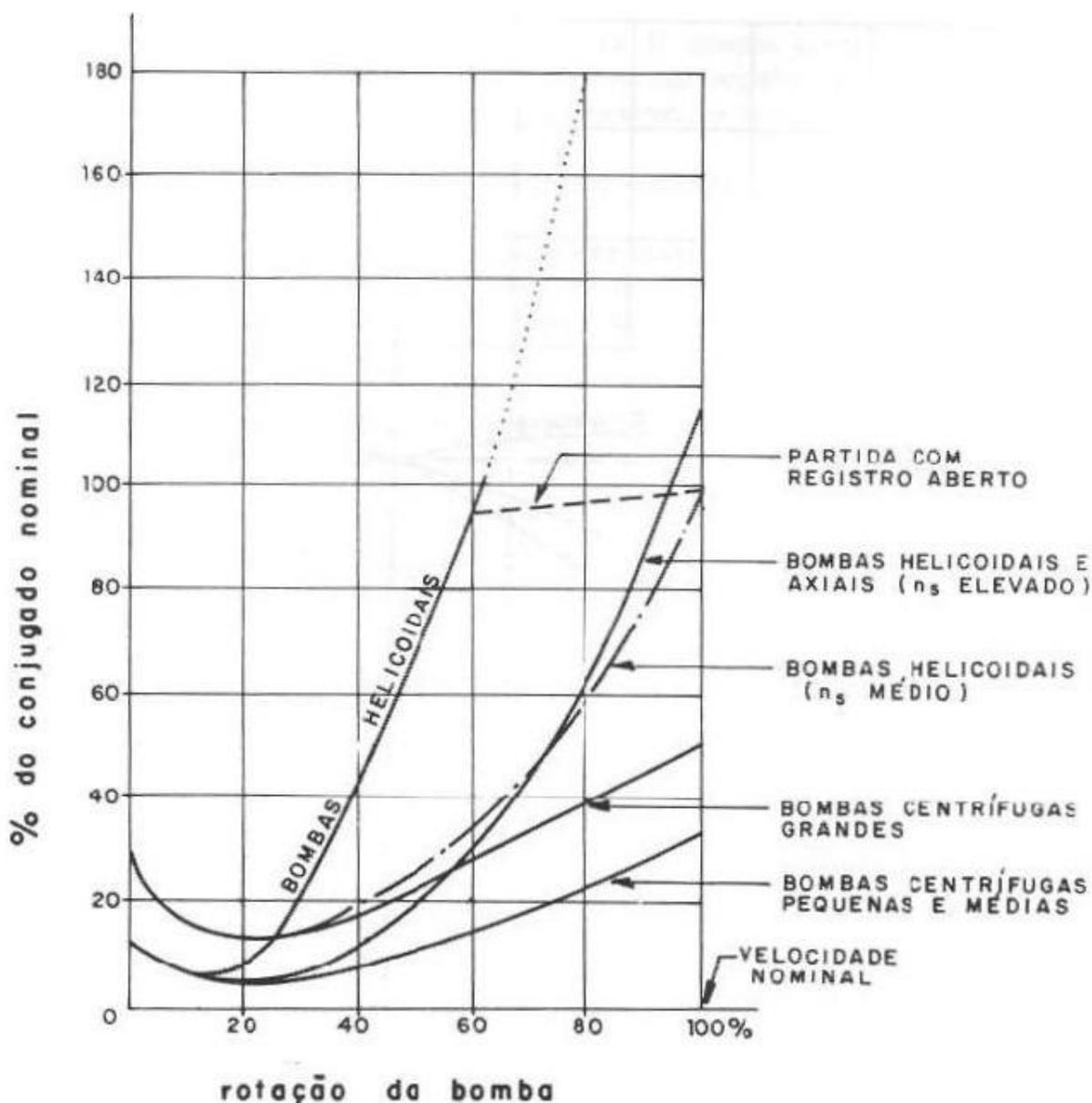


Figura 20 - Variação do conjugado nominal de partida de acordo com o tipo de turbobomba  
 Fonte: Macintyre (1997).

Observa-se ainda na Figura 21 que as bombas centrífugas devem partir com o registro fechado, pois nesta situação o valor do conjugado de partida é menor, além de o tempo de aceleração até atingir a velocidade de regime ser menor também (MACINTYRE, 1997).

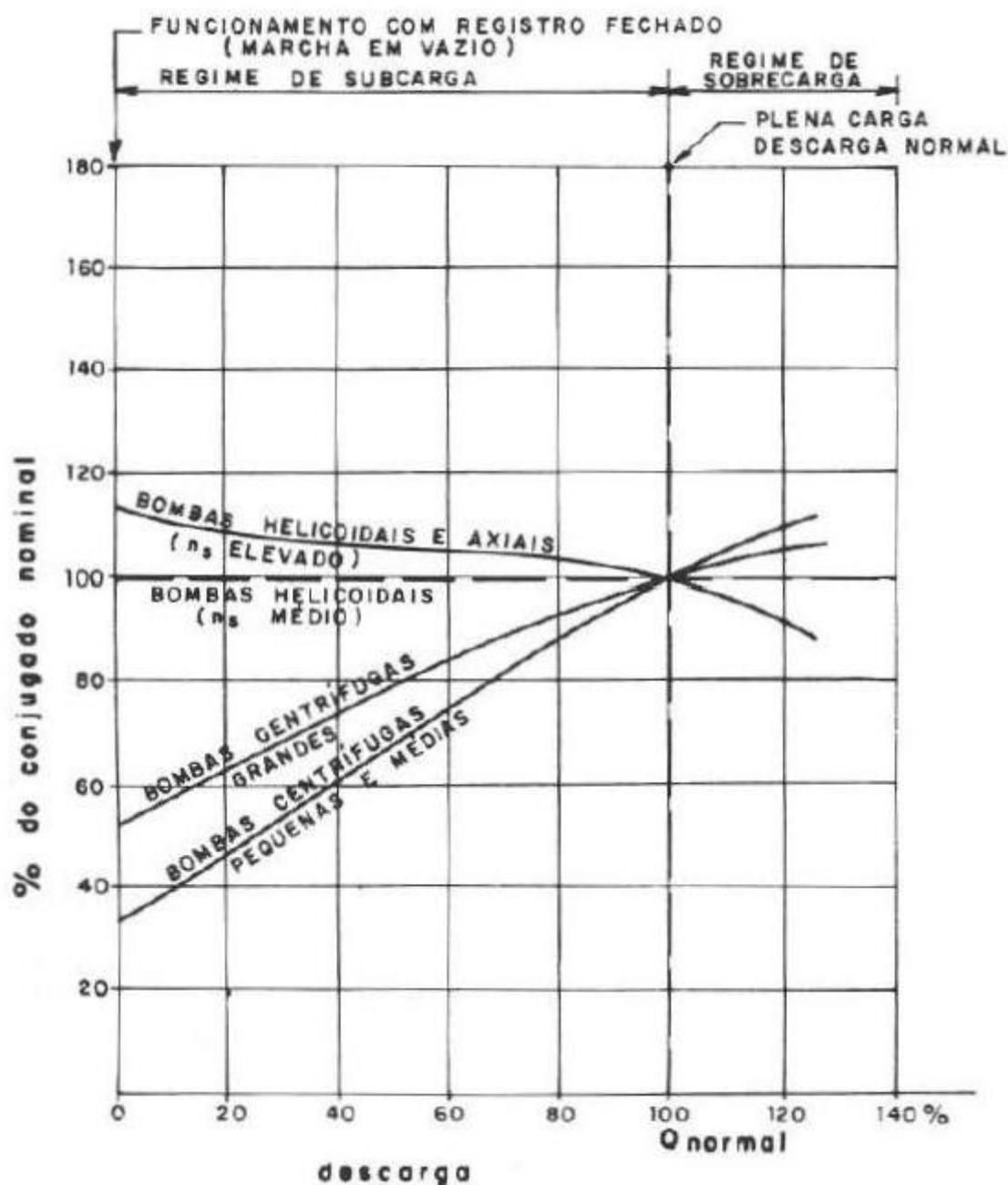


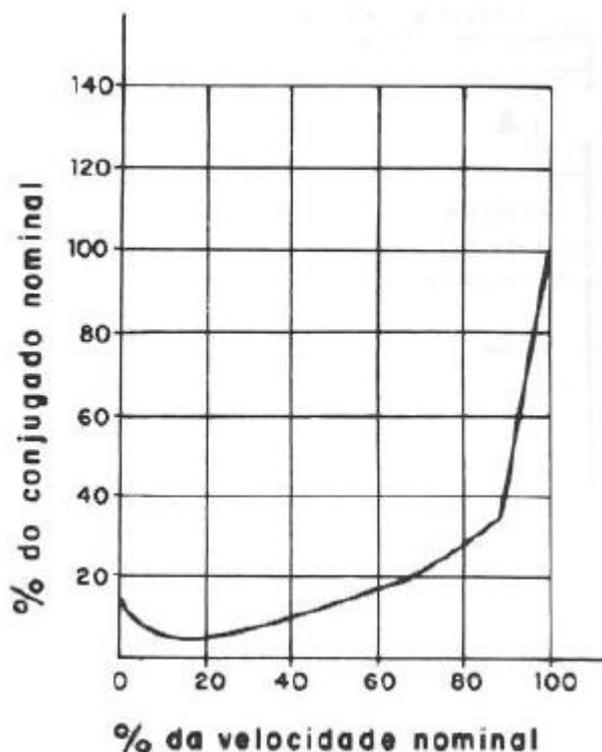
Figura 21 - Variação do conjugado em função da descarga

Fonte: Macintyre (1997).

Nota-se que, para o caso das bombas centrífugas pequenas e médias, se na partida do motor o registro estiver fechado, o conjugado resistente é de apenas 40% do nominal, valor este que ocorre quando a bomba entra em regime, ou seja, quando a sua velocidade atinge seu valor máximo (100%) (MACINTYRE, 1997).

Observa-se ainda, na Figura 22, que para a partida de uma bomba centrífuga com o registro aberto o conjugado absorvido do motor aumenta até atingir

100% de seu valor nominal a plena carga, quando então a velocidade de regime é alcançada (MACINTYRE, 1997).



**Figura 22 - Variação do conjugado com a velocidade até atingir o valor nominal**  
 Fonte: Macintyre (1997).

#### 2.6.3.12 Ramal de Alimentação do Motor

Existem alguns dispositivos que devem ser considerados na instalação elétrica do motor da bomba, independente da complexidade, potência do motor ou controles e medições necessárias. São eles: proteção e chaveamento (liga/desliga) do motor. Em certos casos, devem-se considerar também os dispositivos de comando, sinalização e medição (MACINTYRE, 1997).

O ramal de alimentação é calculado para suportar uma corrente igual a  $1,25 \cdot I_n$ , e também deve-se levar em conta no seu dimensionamento a queda de tensão permitida por norma (MACINTYRE, 1997).

A Figura 23 ilustra um exemplo de alimentação do motor, vindo de um barramento de um quadro geral de abastecimento, onde "A" representa o dispositivo de proteção do ramal, "B" a chave seccionadora, "C" a chave de proteção do motor,

com dispositivo para ligar e desligar, e “D” representa a chave de partida (MACINTYRE, 1997).

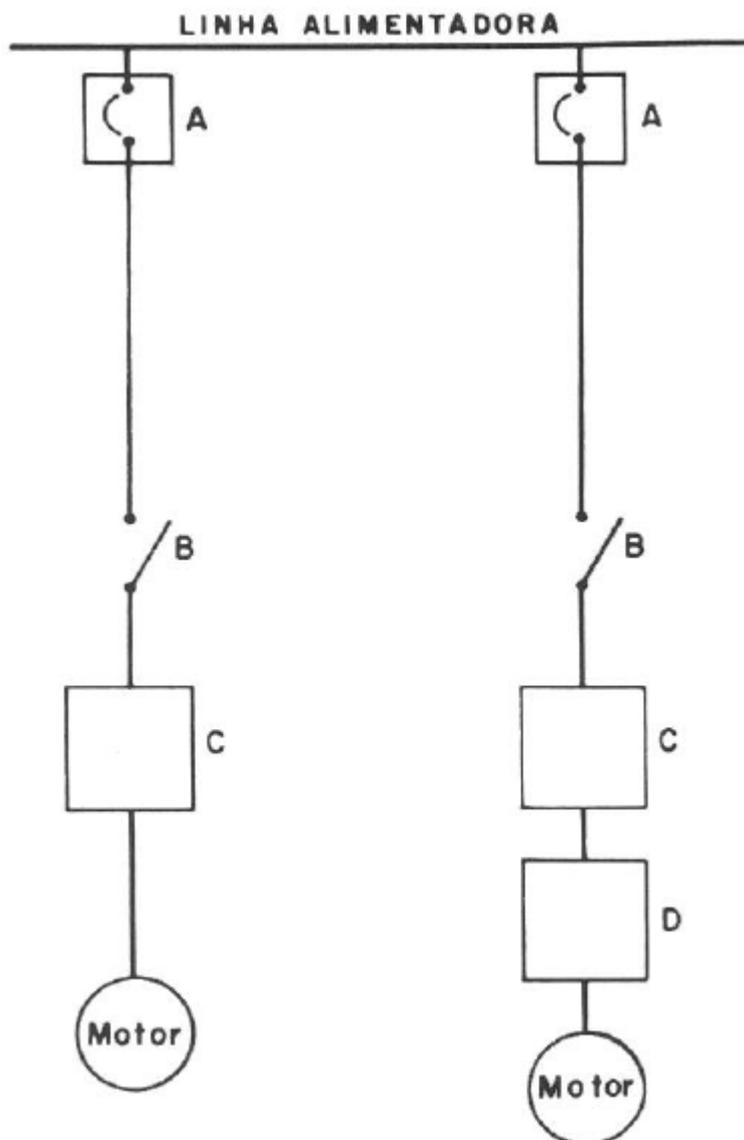


Figura 23 - Sistemas de proteção do motor elétrico de uma bomba

Fonte: Macintyre (1997).

#### 2.6.3.13 Dispositivos de partida e de chaveamento (liga/desliga) dos motores— Chaves de Partida

Estes dispositivos podem ser de ligação direta ou de redução da corrente de partida. Para motores até 5 c.v., ligados à rede secundária trifásica, é possível utilizar chaves de partida direta. Porém, acima dessa potência devem-se empregar

dispositivos de partida que limitem a corrente ao máximo de 225% da corrente nominal do motor (MACINTYRE, 1997).

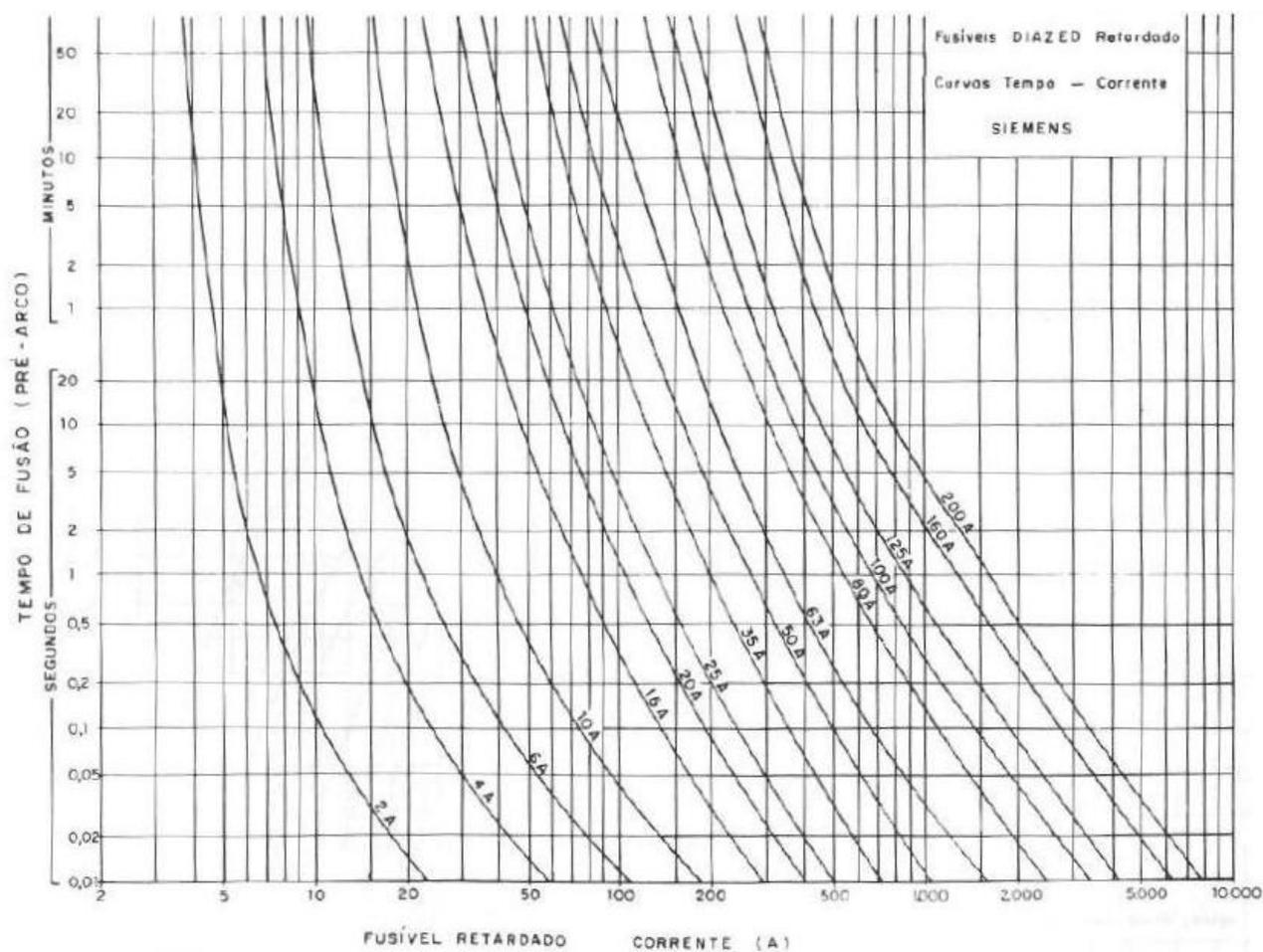
Nos casos de ligação direta empregam-se os contatores e disjuntores. Os primeiros são chaves “liga-desliga”, acionadas por um dispositivo eletromagnético. Tal acionamento pode ser realizado no local ou à distância, desde que com os botões em local adequado, podendo ainda ser comandados por “chaves de bóia”, pressostatos ou outros dispositivos semelhantes. Já os disjuntores são chaves com relés térmicos (bimetálicos) e com relés magnéticos (não-ajustáveis), com a possibilidade de comando no local ou à distância. Os relés térmicos são ajustáveis para a proteção contra sobrecarga nas três fases, enquanto os magnéticos para proteção contra curto-circuito nas três fases. É possível ainda haver relés de subtensão (bobina de mínima), que protegem contra queda de tensão (MACINTYRE, 1997).

Para a ligação com dispositivos redutores da corrente de partida podem ser empregados: chaves “estrela-triângulo”; compensadores com autotransformador de partida; indutor ou resistor de partida. As primeiras são utilizadas para potências em geral de até 30 c.v., onde normalmente a partida do motor é realizada “em estrela”, e após decorrido o intervalo de tempo definido em projeto, alteram-se para “triângulo” as conexões dos enrolamentos do motor. As chaves de partida com autotransformador são utilizadas para potências compreendidas entre 10 e 100 c.v., reduzindo a corrente de partida e deixando um conjugado suficiente para o arranque do motor da bomba. Já os indutores e resistores de partida são empregados em casos onde a potência é superior a 100 c.v. (MACINTYRE, 1997).

#### 2.6.3.14 Dispositivos de Proteção dos Motores

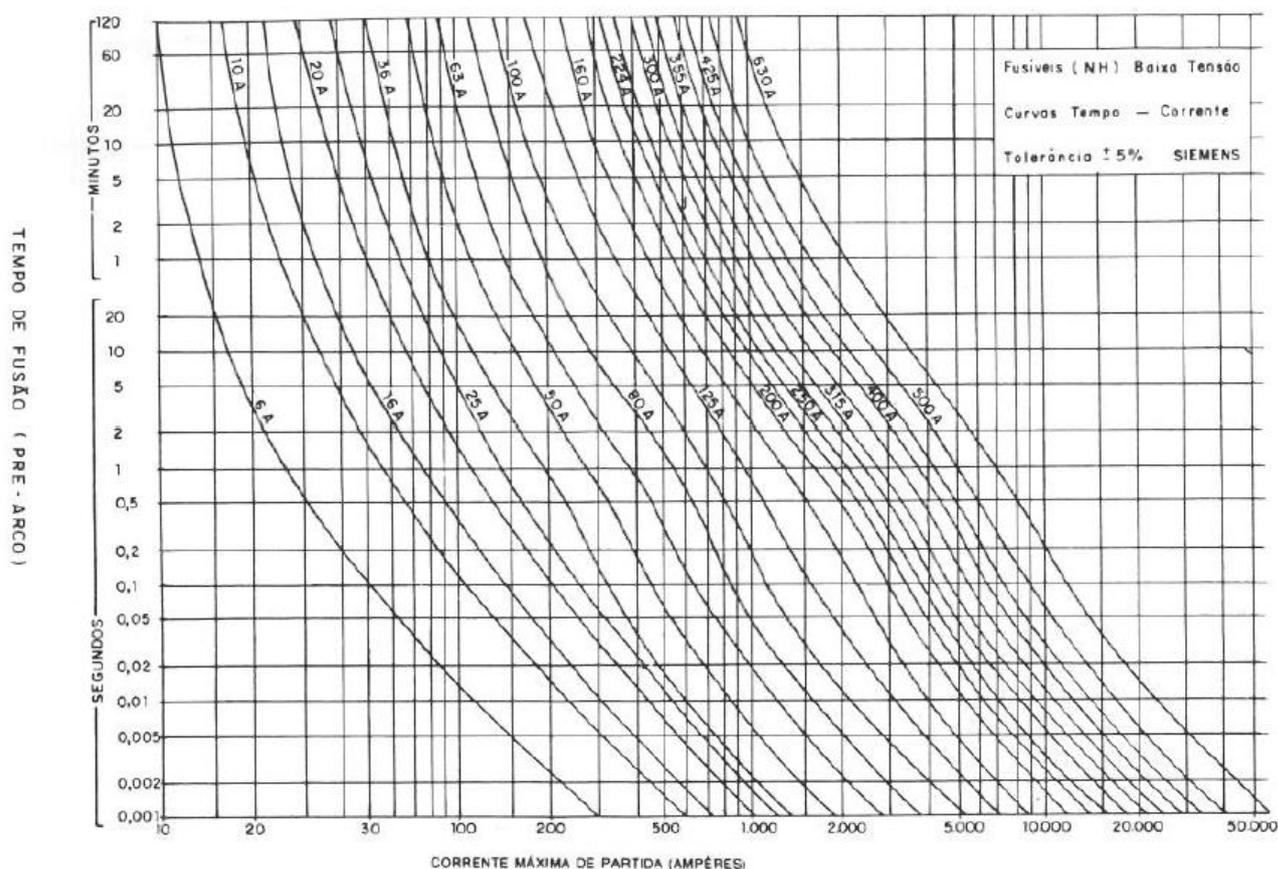
A proteção de motores elétricos pode ser realizada através do emprego de dispositivos como os fusíveis de ação retardada, ou também pelos disjuntores. Os fusíveis podem ser do tipo DIAZED ou NH, e deverão permitir a passagem da elevada corrente de partida sem fundirem, sendo que, a fusão deverá ocorrer após um tempo determinado, que deve ser fixado, para possibilitar a escolha da capacidade do fusível, de acordo com a Figura 24 e a Figura 25 (MACINTYRE, 1997).

Já os disjuntores possuem relés térmicos que desligam quando o valor da corrente torna-se elevado durante um período relativamente longo de tempo. Podem possuir dispositivo de proteção contra curto-circuito, sendo que, a proteção pode atuar provocando o desligamento simultâneo das três fases, mesmo que o curto-circuito ocorra em apenas uma delas (MACINTYRE, 1997).



**Figura 24 - Curvas de tempo de fusão em função da intensidade da corrente partida para fusíveis DIAZED da Siemens**

Fonte: Macintyre (1997).



**Figura 25 - Curvas de tempo de fusão em função da corrente máxima de partida para fusíveis NH da Siemens**

Fonte: Macintyre (1997).

## 2.7 COMANDO DA BOMBA COM CHAVE DE BÓIA

A “chave de bóia” ou “automático de bóia” é um dispositivo elétrico que, por meio da instalação elétrica, permite o controle automático da bomba. Nos reservatórios hidropneumáticos, o comando pode ocorrer através de eletrodos ou de um pressostato (MACINTYRE, 1997).

Esses dispositivos são dispostos de maneira a ligar ou desligar a bomba quando o nível do líquido atinge um valor determinado nos reservatórios, o que é possível por meio da ação de uma haste que se desloca quando a bóia (flutuador) alcança os esbarros nela colocados. Assim, tem-se a chave de bóia superior e/ou inferior, conforme o reservatório onde é instalada (MACINTYRE, 1997).

Segundo Macintyre, (1997, p. 698) “um dos automáticos ou reguladores de nível mais usados é o de fabricação da Flygt, que consiste num interruptor de mercúrio no interior de um invólucro flutuador de polipropileno e que aciona um disjuntor. Usa-se para água, esgotos e líquidos agressivos. Outro modelo é da ABS Bombas.”. O modelo da Flygt está representado na Figura 26.

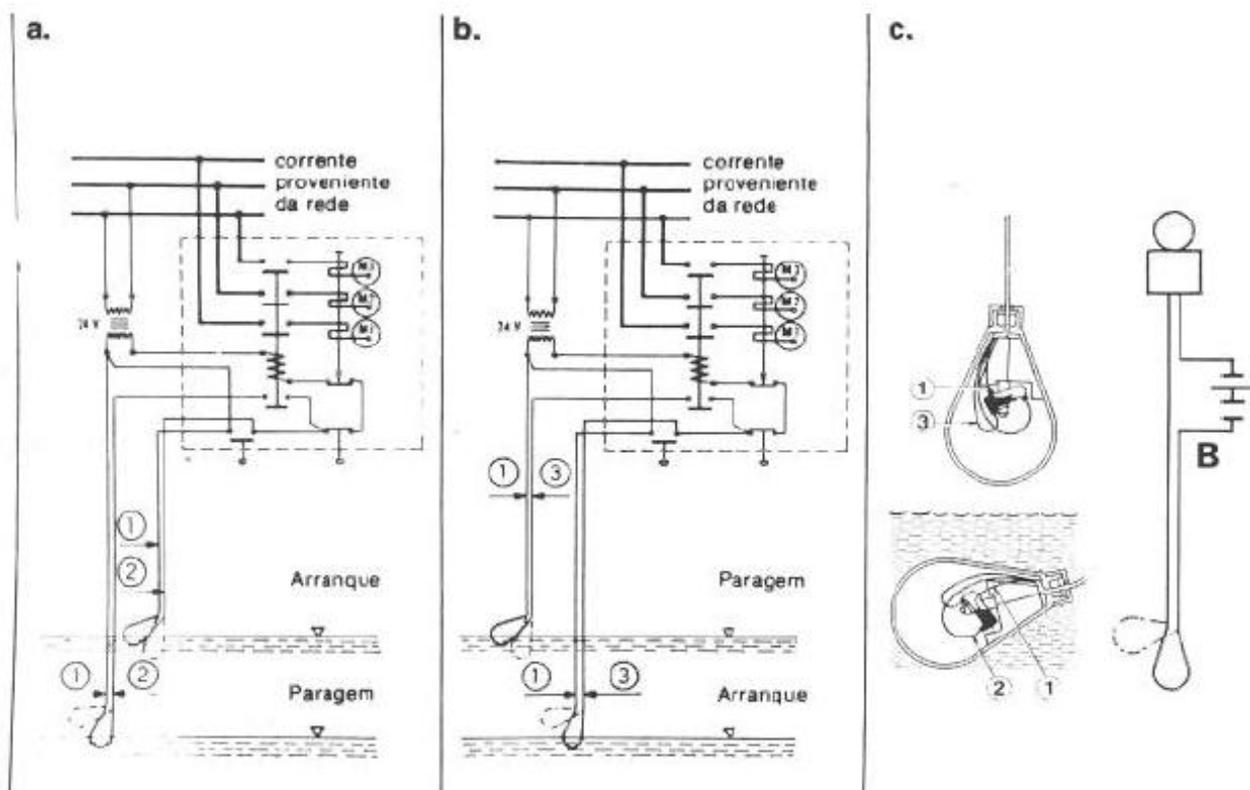
Algumas situações são ilustradas na Figura 27, que mostra esquematicamente as ligações para comando. No caso onde há líquido suficiente no reservatório inferior, a bomba é comandada pela chave de bóia do reservatório superior. Já em situações onde o reservatório inferior pode comprometer a aspiração, pela entrada de ar no tubo de aspiração, a chave de bóia inferior desligará a bomba, mesmo que o nível desejado no reservatório superior não tenha sido atingido (MACINTYRE, 1997).

A Figura 28 representa, segundo Macintyre (1997, p.698), “uma instalação típica de bombeamento em um edifício, com duas bombas (funcionando uma de cada vez), dois reservatórios inferiores e dois superiores. O quadro de chaves das bombas mostra as chaves desligadoras, as chaves magnéticas e as chaves de reversão. O esquema mostra as ligações dos automáticos de bóia e as chaves de reversão que permitem as alternativas no emprego dos reservatórios e das bombas”.

### Esquema do circuito

A fim de satisfazer os regulamentos locais, os reguladores de nível são normalmente ligados, por meio de um transformador, a um circuito de baixa tensão. Utilizam-se dois reguladores, um para ligar, outro para desligar. Pode ligar-se um terceiro, no caso de se pretender dispositivo de alarme para determinado nível. Para todas as funções podem-se utilizar reguladores idênticos.

- a. **Ligado para despejar reservatórios**  
Ligam-se os condutores vermelho e preto  
Isola-se o condutor branco
- b. **Ligado para encher reservatórios**  
Ligam-se os condutores vermelho e branco  
Isola-se o condutor preto
- c. **Ligado para dar alarme**  
Ligam-se os condutores vermelho e preto no caso de se desejar funcionamento do alarme com nível elevado. Ligam-se os condutores vermelho e branco no caso de se desejar funcionamento do alarme com nível baixo.



B = Bateria M1, M2, M3 = em direção da bomba 1 = vermelho 2 = negro 3 = branco

Figura 26 - Regulador de nível Flygt - ENH-10

Fonte: Macintyre (1997).

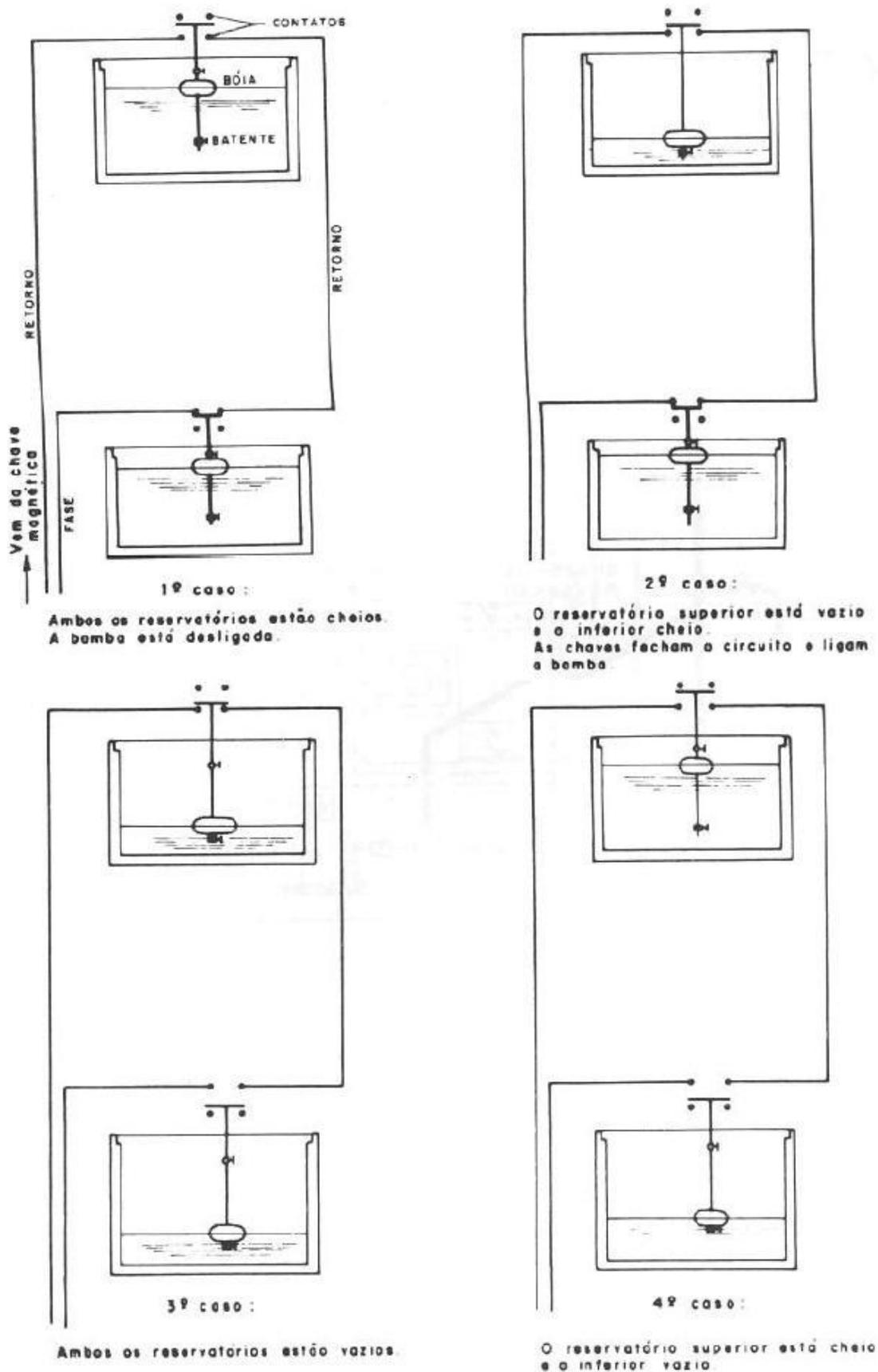


Figura 27 - Automático de bóia para reservatório superior e inferior. Situações possíveis.  
Fonte: Macintyre (1997).

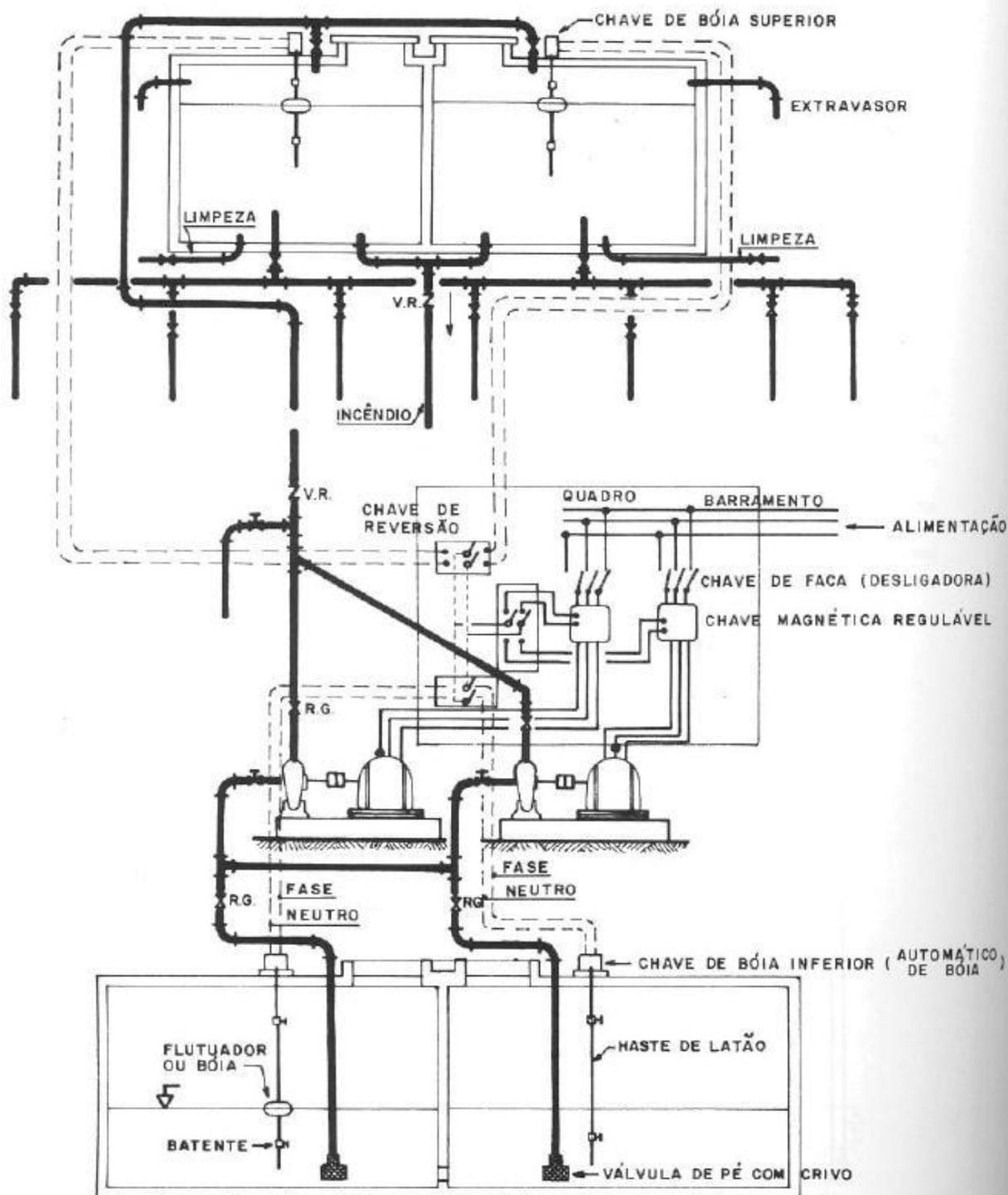


Figura 28 - Instalação de bombeamento de água para edifícios com dois reservatórios duplos. (Representação esquemática)

Fonte: Macintyre (1997).

### **3 SOLUÇÕES PROPOSTAS**

#### **3.1 CONSUMO DE ENERGIA NA FRENAGEM DE ELEVADORES**

##### **3.1.1 Visitas a edifícios residenciais**

Para verificar em casos reais quais as condições de consumo de energia na frenagem de elevadores, foram feitos alguns contatos com a empresa ThyssenKrupp Elevadores para verificar a possibilidade de realizar visitas a edifícios residenciais. O principal intuito dessas visitas foi levantar dados técnicos para estudar a viabilidade do sistema de aproveitamento da energia gerada pelo freio regenerativo de elevadores.

No dia 21 de Setembro de 2011 foi realizada uma visita a um edifício localizado na Avenida Sete de Setembro, acompanhada pelo Sr. Aparecido, funcionário da empresa ThyssenKrupp Elevadores.

O sistema de elevadores utilizado no referido prédio foi instalado em 1995, sendo, portanto, um sistema considerado como antigo. Na Figura 29 é possível observar a placa de dados do motor do elevador, que é um motor de indução trifásico, do modelo 3W 7003 B1, fabricado pela empresa Elevadores SÛR S.A..

Por ser um elevador antigo, não foi possível obter os dados que seriam necessários para o estudo de caso, devido ao fato de as potências empregadas nestes tipos de motores serem superiores aos utilizados em sistemas atuais de elevadores com inversores (vide ANEXO A). Porém, ainda assim, a visita foi de grande valia, visto que foi possível obter conhecimentos amplos sobre os sistemas de elevadores em geral.

Maiores explicações sobre esta visita estão descritas no APÊNDICE A.



Figura 29 - Placa de identificação do motor do elevador

Fonte: Autoria Própria.

No dia 21 de Outubro, foi realizada uma nova visita a um edifício residencial, situado à Rua Gutemberg. Desta vez, a visita foi acompanhada pelo Sr. Élson, funcionário também da empresa ThyssenKrupp Elevadores.

O sistema de elevadores deste prédio é mais moderno, o que possibilitou que fosse realizado um estudo de caso sobre este edifício. Os dados levantados estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados do prédio visitado na Rua Gutemberg

PRÉDIO RESIDENCIAL		
	Valor	Unidade
CONSUMO DE ÁGUA MÉDIO MENSAL	403	m <sup>3</sup>
NÚMERO DE PESSOAS	57	Pessoas
NÚMERO DE BLOCOS	2	Blocos
NÚMERO DE ANDARES POR BLOCO	10	Andares
NÚMERO DE APARTAMENTOS	19	Aptos
POSSUI POÇO ARTESIANO	Não	-
ALTURA ENTRE A CISTERNA E A CAIXA D'ÁGUA	45	m
POTÊNCIA DO MOTOR-bomba	4	cv
TENSÃO DO MOTOR-bomba	220	V
RENDIMENTO DO MOTOR-bomba	0,84	-
FATOR DE POTÊNCIA DO MOTOR-bomba	0,82	-
POTÊNCIA DA BOMBA	4	cv
VAZÃO DA BOMBA	9,5	m <sup>3</sup> /h
RENDIMENTO DA BOMBA	0,52	-
CAPACIDADE DA CAIXA D'ÁGUA	20000	L
POTÊNCIA DO MOTOR-elevador	11	kW
TENSÃO DO MOTOR-elevador	220	V
RENDIMENTO DO MOTOR-elevador	0,85	-
FATOR DE POTÊNCIA DO MOTOR-elevador	0,86	-
TIPO/MODELO DO MOTOR - elevador	B 132 L4-E1916	-
PESO DA CABINA - ELEVADOR	1250	kg
CAPACIDADE DO ELEVADOR	600	kg
CONTRAPESO	1550	kg
FLUXO DE PESSOAS (Previsto em fase de projeto) - ELEVADOR	2,4	Pessoas

Fonte: Autoria Própria.

Este sistema de elevadores tem a frequência controlada a partir de inversores de frequência. Segundo o Sr. Élson, no momento da partida, o sistema envia ao inversor tensão trifásica AC o qual transforma em CC e através de transistores e capacitores controla a frequência enviada ao motor, variando de 0 (zero) a 55Hz, e no momento da frenagem ocorre o inverso, ou seja, de 55Hz a 0

(zero), o que dá maior estabilidade e conforto ao elevador. O inversor utilizado pelo sistema é da marca Semikron.

Conforme a explicação do Sr. Élson, o procedimento de frenagem funciona da seguinte maneira: a partir do momento em que o usuário “chama” o elevador, há um sistema virtual que após o reconhecimento realizado através do auto ajuste (feito durante os ajustes de instalação do elevador ou quando é realizado via software pelo técnico de manutenção) o qual calcula a distância entre as “Placas de Parada”, localizadas em cada andar, possibilitando que o elevador identifique onde deve parar. A partir dessa placa é enviado sinal através da rede serial para a placa de controle existente, calcula-se, então, onde o elevador deverá desacelerar. Quando a desaceleração é iniciada, o sistema, através da placa, faz a indicação para a frenagem. A partir disso, existe um software no inversor, que realiza a redução da frequência através da injeção de corrente CC em uma resistência existente, chamada também de “queimador”. A Figura 33 mostra o queimador de  $9\Omega$  existente no edifício visitado.

Segundo o Sr. Élson, havia um contador de acionamentos no controle do elevador, que constava 5743 acionamentos. No entanto, este contador está acionado desde a última vez em que o elevador foi desligado e ligado novamente. Estima-se que este valor refere-se a 3 meses de uso do elevador.

Para estabelecer a vazão provável da bomba deste edifício, foi necessário calcular a altura manométrica em função da vazão e das perdas existentes em instalações hidráulicas. A altura manométrica em função da vazão foi determinada com base na altura estática da coluna d’água e nas perdas que ocorrem na tubulação e em dispositivos peculiares a uma instalação hidráulica desta natureza. Após e com base na curva da bomba, vazão x altura manométrica, foi possível determinar o ponto de operação da bomba: vazão e altura monométrica. A tabela do APÊNDICE B contém os dados que foram utilizados e os cálculos.



Figura 30 - Placa de Identificação do motor do elevador

Fonte: Autoria Própria.



Figura 31 - Motor do elevador

Fonte: Autoria Própria.



Figura 32 - Controle do Elevador

Fonte: Autoria Própria.

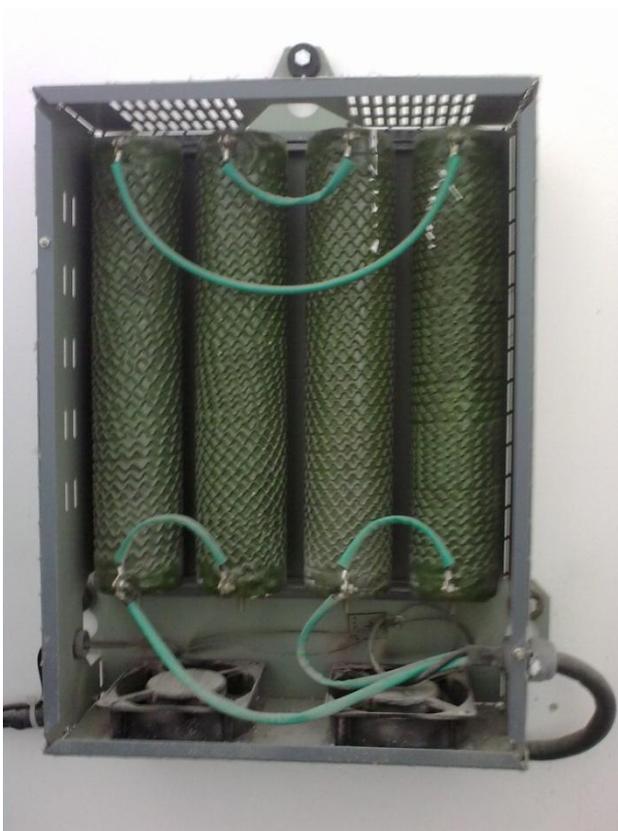


Figura 33 - Queimador existente no edifício visitado

Fonte: Autoria Própria.

### 3.2 CONSUMO DE ÁGUA COMPARADO À ENERGIA GERADA PELA FRENAGEM

Para realizar a comparação entre o consumo de água e a energia gerada pela frenagem regenerativa, foi realizado um **estudo hipotético**, calculando a quantidade de energia que seria gerada pela frenagem regenerativa. Este valor será comparado ao consumo de água de acordo com o levantamento realizado na visita ao edifício da Rua Gutemberg. Outros dados utilizados para os cálculos, como características do elevador, população e altura do edifício, também serão baseados neste levantamento.

#### 3.2.1 Saída – Manhã (HIPÓTESE $\Rightarrow$ Um morador por viagem)

Para esta condição, a situação mais provável é que o elevador encontre-se no andar Térreo quando for acionado.

HIPÓTESE: todos os moradores deixam o prédio nesta condição hipotética, um morador por viagem.

Para os cálculos a seguir, considerar as seguintes variáveis:

CP = peso do contrapeso, em N;

CAB = peso da cabine, em N;

P = peso de uma pessoa, em N;

$\Delta E_p$  = Variação de Energia Potencial (J);

$h_T$  = altura total do prédio, em m;

h = altura do deslocamento do elevador, em m.

Dados do edifício:

Quantidade de moradores = 57;

Andares: 10 andares + 2 pavimentos inferiores de garagem.

Elevadores: capacidade para 8 passageiros (600 kg = 8 x 75 kg).

Motor-bomba: motor com rendimento de 0,84 e potência de 3 kW no eixo.

## 1. Acionamento: elevador no andar Térreo

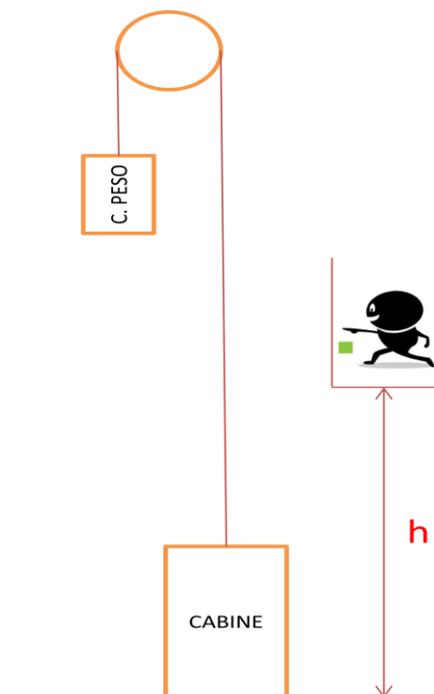


Figura 34 - Acionamento do elevador quando está no andar Térreo  
Fonte: Autoria Própria.

## 2. Cabine, após a solicitação, no andar solicitado

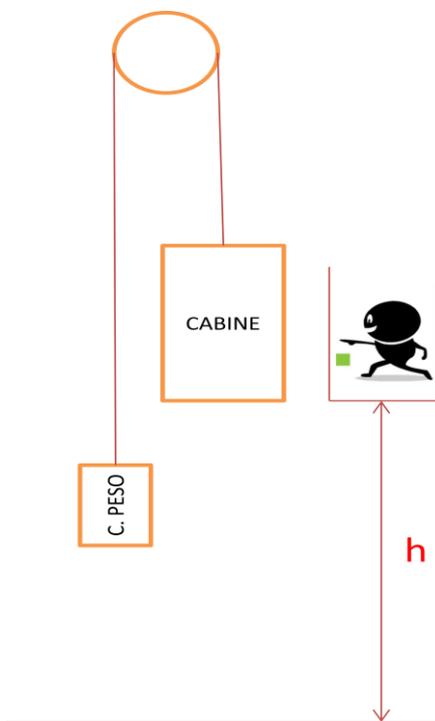


Figura 35 - Cabine no andar solicitado  
Fonte: Autoria Própria.

$$CP = CAB + 4 \cdot P$$

$$\Delta Ep = h(CAB) - h(CP)$$

$$\Delta Ep = h(CAB) - h(CAB + 4 \cdot P)$$

$$\Delta Ep = -4 \cdot P \cdot h$$

$$\text{Energia Gerada} = 4 \cdot P \cdot h$$

O valor  $P$  é multiplicado por 4, devido ao fato de que, para o elevador do edifício da Rua Gutemberg, a capacidade é de 8 pessoas, então, calcula-se o contrapeso como o peso da cabina somado à metade da capacidade máxima da mesma.

## 3. Cabine com o usuário no pavimento térreo

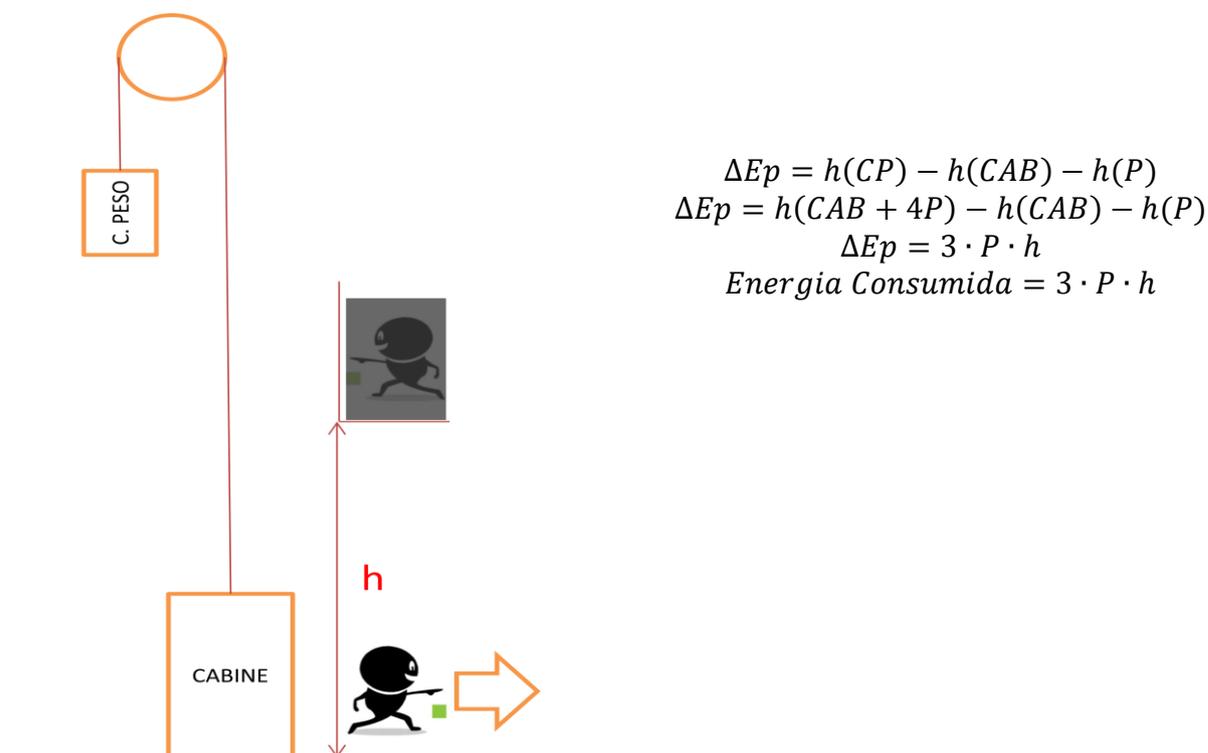


Figura 36 - Cabine no pavimento Térreo

Fonte: Autoria Própria.

Portanto, considerando a hipótese de que todos os moradores deixam o prédio nesta condição hipotética de um morador por viagem, encontra-se o valor da Energia Gerada, conforme os cálculos a seguir.

$$\text{Energia gerada total pela manhã/dia} = 4 \cdot 75\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot \frac{h_T}{2} \cdot 57\text{pessoas}$$

Onde a altura total do prédio ( $h_T$ ), considerando que cada andar possua 3m, é calculada a partir da seguinte equação:

$$h_T = (10\text{andares} + 2\text{pavimentos inferiores de garagem}) \cdot 3\text{m}$$

$$h_T = 36\text{m}$$

Portanto, continua-se o cálculo da energia total gerada pela manhã e por dia:

$$\text{Energia gerada total pela manhã/dia} = 4 \cdot 75\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot \frac{36}{2} \cdot 57\text{pessoas}$$

$$\text{Energia gerada total pela manhã/dia} = 3,02\text{MJ/dia}$$

Sendo assim, ao considerar o tráfego de saída dos moradores do prédio com maior intensidade pela manhã, num período de aproximadamente 1 hora, e sendo 57 moradores acessando 2 elevadores, calcula-se que o tráfego de pessoas é de aproximadamente 1 pessoa a cada 2 minutos por elevador.

### 3.2.2 Entrada – Noite (HIPÓTESE $\Rightarrow$ Um morador por viagem)

Para esta condição, a situação mais provável é que, quando for acionado, o elevador encontre-se no andar onde desembarcou o último morador.

HIPÓTESE: todos os moradores deixam o prédio nesta condição hipotética, um morador por viagem.

1. Acionamento: cabine em uma posição intermediária. Valor médio em termos de energia potencial.

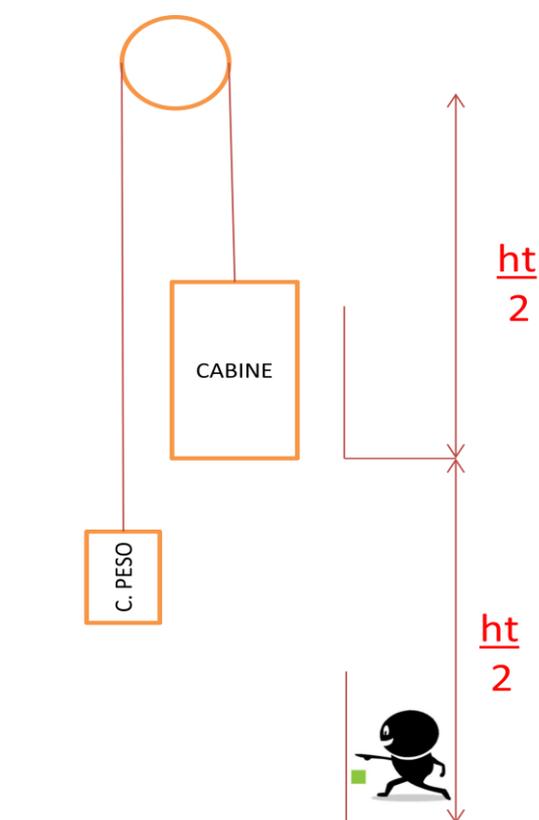


Figura 37 - Acionamento do elevador quando está em posição intermediária

Fonte: Autoria Própria.

2. Cabine, após a solicitação, no pavimento térreo.

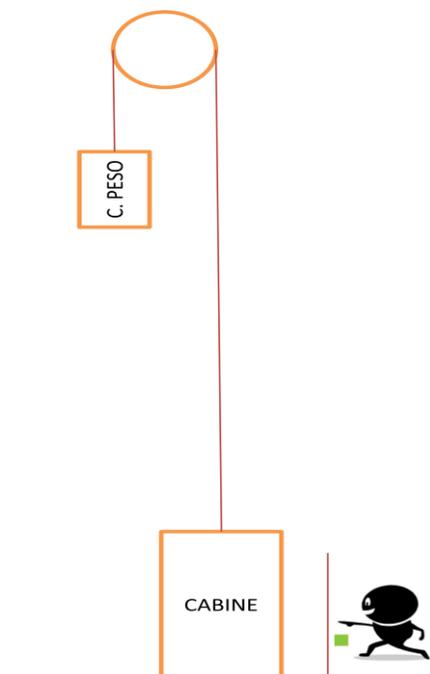


Figura 38 - Cabine no pavimento Térreo

Fonte: Autoria Própria.

Nesta situação, o valor da energia absorvida é estimado da seguinte maneira:

$$\Delta E_p = \frac{h_T}{2}(CP) - \frac{h_T}{2}(CAB)$$

$$\frac{h_T}{2}(CAB + 4 \cdot P - CAB) = \frac{h_T}{2} \cdot 4 \cdot P$$

$$\text{Energia Absorvida} = \frac{h_T}{2} \cdot 4 \cdot P$$

3. Cabine com o usuário no pavimento do morador.

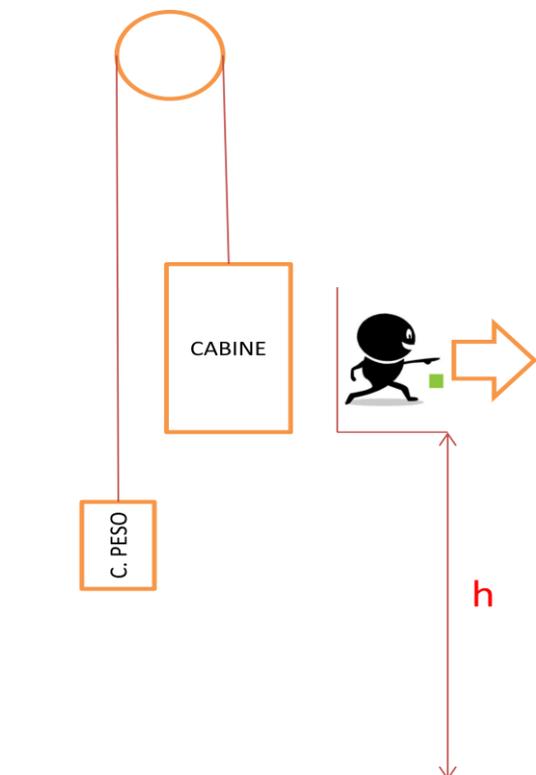


Figura 39 - Cabine no andar do usuário

Fonte: Autoria Própria.

$$\Delta E_p = h(CAB + 1 \cdot P) - h(CP)$$

$$\Delta E_p = h(CAB + 1P) - h(CAB + 4P)$$

$$\Delta E_p = -3 \cdot P \cdot h$$

$$\text{Energia Gerada} = 3 \cdot P \cdot h$$

Portanto, encontra-se o valor da Energia Gerada, conforme os cálculos a seguir.

$$\text{Energia gerada total pela noite/dia} = 3 \cdot 75\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot \frac{h_T}{2} \cdot 57\text{pessoas}$$

$$\text{Energia gerada total pela noite/dia} = 3 \cdot 75\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot \frac{36}{2} \cdot 57\text{pessoas}$$

$$\text{Energia gerada total pela noite/dia} = 2,26\text{MJ/dia}$$

### 3.2.3 Entrada – Saída durante o dia (HIPÓTESE $\Rightarrow$ Um morador por viagem)

Para esta condição utilizam-se as mesmas hipóteses anteriores.

HIPÓTESE ADICIONAL: 57 viagens de Entrada-Saída.

Nesta situação, o valor da energia gerada por viagem entrada/saída é estimado da seguinte maneira:

$$\Delta E_p = 4 \cdot P \cdot h + 3 \cdot P \cdot h$$

$$\text{Energia Gerada} = 7 \cdot P \cdot h$$

Logo, a energia gerada durante o dia para cada dia é estimada em:

$$\text{Energia gerada total durante o dia/dia} = 7 \cdot 75\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot \frac{h_T}{2} \cdot 57\text{pessoas}$$

$$\text{Energia gerada total durante o dia/dia} = 7 \cdot 75\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 \cdot \frac{36}{2} \cdot 57\text{pessoas}$$

$$\text{Energia gerada total durante o dia/dia} = 5,28\text{MJ/dia}$$

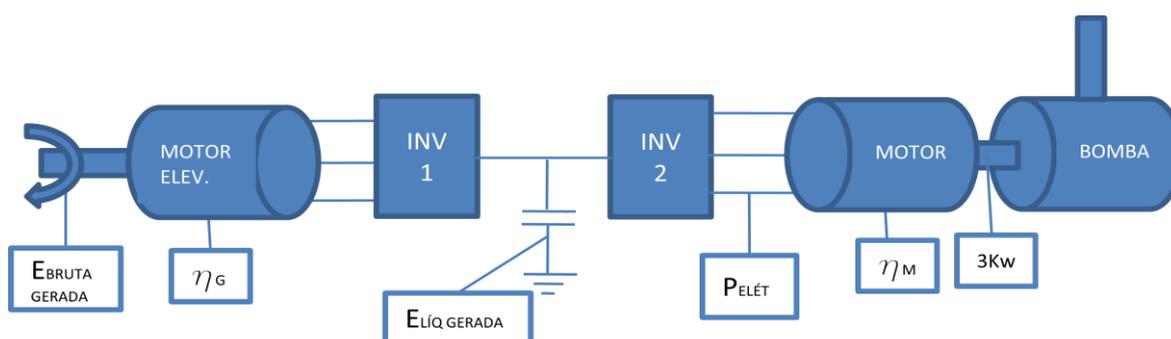
Sendo assim, calcula-se que a energia hipotética total gerada é representada pela soma entre a energia gerada pela manhã, a energia gerada durante o dia e a energia gerada a noite, conforme a equação seguinte.

$$\text{Energia Hipotética Total Gerada/dia} = 3,02\text{MJ/dia} + 2,26\text{MJ/dia} + 5,28\text{MJ/dia}$$

$$\text{Energia Hipotética Total Gerada/dia} = 10,56\text{MJ/dia}$$

### 3.2.4 Avaliação do emprego da energia regenerativa – Bombas de Recalque

A Figura 40 ilustra o esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada. A partir da energia hipotética total gerada, calculada anteriormente, será estimada a porcentagem que o fornecimento da energia regenerada representa sobre o total de energia necessária para o processo diário de recalque.



**Figura 40 - Esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada**

Fonte: Autoria Própria.

Onde:

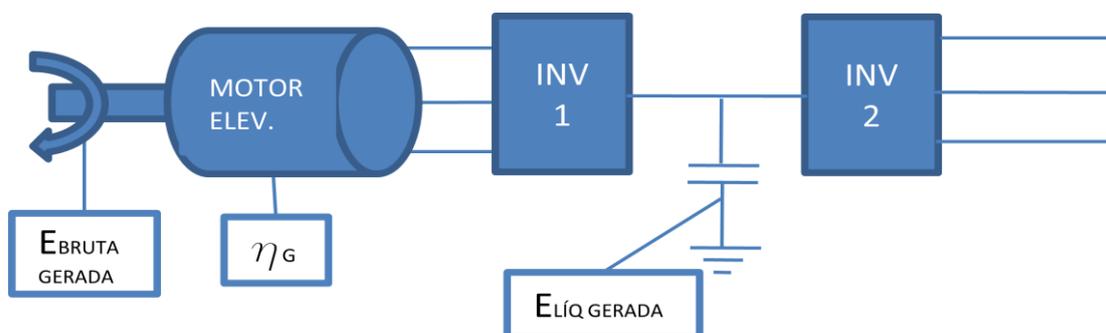
$\eta_G$  = rendimento do motor do elevador quando funcionando como gerador, incluindo os rendimentos dos inversores;

$\eta_M$  = rendimento do motor do grupo motor-bomba;

$E_{BRUTA\ GERADA} = 10,56$  MJ/dia , conforme calculado anteriormente;

$E_{LÍQUIDA\ GERADA} = 10,56 \cdot \eta_G$  MJ/dia .

#### 3.2.4.1 Armazenamento da energia gerada na frenagem regenerativa dos elevadores



**Figura 41 - Parte do esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada**

Fonte: Autoria Própria.

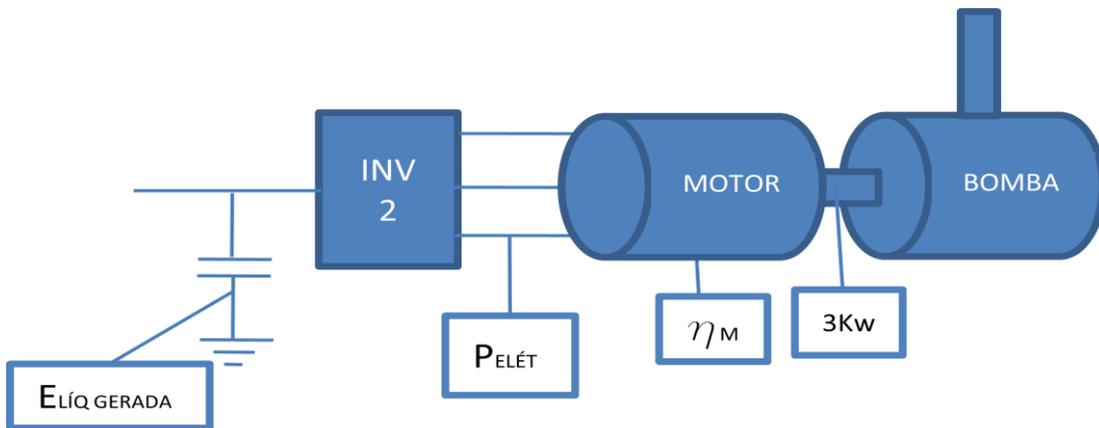
Onde:

$$\eta_G = 0,6;$$

$E_{BRUTA\ GERADA} = 10,56 \text{ MJ/dia}$  , conforme calculado anteriormente;

$$E_{LÍQUIDA\ GERADA} = 10,56 \cdot \eta_G \text{ MJ/dia} .$$

### 3.2.4.2 Energia transferida para a bomba



**Figura 42 - Parte do esquema do sistema de aproveitamento da energia regenerada**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Para esta situação têm-se os seguintes dados:

$$\eta_M = 0,84;$$

$$E_{LÍQUIDA\ GERADA} = T_{EN-ELEVADOR} \cdot P_{ELÉTRICA}$$

$$T_{EN-ELEVADOR} = \frac{10,56M \cdot \eta_G}{3k \cdot \eta_M}$$

$$T_{EN-ELEVADOR} = \frac{10,56M \cdot 0,6}{3k \cdot 0,84}$$

$$T_{EN-ELEVADOR} = 2514,29 \text{ s/dia}$$

$$T_{EN-ELEVADOR} = 41,9 \text{ min/dia}$$

Onde:

$T_{EN-ELEVADOR}$  = Tempo de acionamento do grupo motor-bomba com energia da frenagem regenerativa.

Considerando a vazão da bomba ( $Q_{BOMBA}$ ), conforme calculada no APÊNDICE B e o consumo de água informado pelo condomínio da Rua Gutemberg, tem-se:

$$Q_{BOMBA} = 9,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,16 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Consumo}/\text{dia} = 403 \text{ m}^3/30\text{dias} = 13,43 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Desta forma, estima-se que seja fornecido pela energia proveniente da frenagem:

$$Q_{BOMBA} \cdot T_{\text{EN-ELEVADOR}} = (0,16 \text{ m}^3/\text{min} \cdot 41,9 \text{ min}/\text{dia})$$

$$Q_{BOMBA} \cdot T_{\text{EN-ELEVADOR}} = 6,70 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Calcula-se, então, a porcentagem que este fornecimento representa:

$$100 \cdot \frac{6,70 \text{ m}^3/\text{dia}}{13,43 \text{ m}^3/\text{dia}} = 49,89\%$$

Portanto, de acordo com este cálculo hipotético, estima-se que o sistema de aproveitamento da energia proveniente da frenagem regenerativa tem a capacidade de suprir em torno de 50% da energia necessária para o recalque diário deste prédio residencial.

## 4 MONTAGEM E TESTES DO EXPERIMENTO

Para facilitar a compreensão sobre o aproveitamento da energia armazenada na frenagem regenerativa elétrica em elevadores, optou-se por confeccionar um experimento.

Inicialmente foi necessário estudar a lógica do processo para o controle do sistema de aproveitamento da energia armazenada na frenagem regenerativa em elevadores. Durante esta fase foi especificada a lista de requisitos e, ao seu término, a identificação e a descrição final dos processos envolvidos e necessários para o controle do sistema proposto. Para a execução do experimento, foram identificados e especificados os equipamentos e os materiais necessários. As etapas utilizadas na especificação dos processos e na construção e testes do experimento estão descritos neste capítulo.

### 4.1 REQUISITOS

Os requisitos descrevem os itens que devem ser implementados no projeto. O modo como será implementado está descrito no tópico que trata do projeto do sistema de comando/força do motor-bomba.

## 4.1.1 Lista dos Requisitos

Quadro 3 - Requisitos para o projeto

	Titulo e Descrição
01	<p><b>Prioridade no uso da energia regenerativa - Fonte de tensão DC:</b> Priorizar o uso da fonte DC para acionar o motor-bomba, toda a vez que a sua tensão permitir e desde que o reservatório superior não esteja cheio e, tampouco, o reservatório inferior vazio. Isto significa que se o motor-bomba estiver ligado à rede da concessionária de energia elétrica e, neste meio tempo, a fonte de tensão DC atinge o nível de tensão suficiente para atender também o processo de recalque, então o primeiro deverá ser desligado da rede da concessionária e o inversor acionado em seguida.</p>
02	<p><b>Paralelismo entre as fontes de energia – Intertravamento:</b> A rede da concessionária de energia e a fonte de energia regenerativa não devem atuar em paralelo, portanto, uma deve estar desligada sempre que a outra estiver atuando.</p>
03	<p><b>Controle da fonte de tensão DC pelo inversor - Sensor:</b> Disponibilizar a fonte DC para alimentar o inversor somente quando a sua tensão estiver em nível adequado para suportar o acionamento do motor-bomba por tempo aceitável e também quando a sua tensão for compatível com o do barramento CC do inversor. Assim, para minimizar o número de acionamentos do motor-bomba pelo inversor, este último poderá ser acionado somente quando a tensão da fonte atingir a faixa de tensão configurada para cada instalação e que deverá ser superior ao limite inferior do barramento CC do inversor e levemente inferior ao limite superior deste mesmo barramento. No entanto, uma vez acionado o inversor, este deverá ser desligado somente se a tensão na fonte DC estiver próxima do seu limite inferior ou então caso os reservatórios tenham atingido níveis d'água que exijam a interrupção do recalque.</p>
04	<p><b>Manutenção do sistema do inversor– Comutador com chave:</b> Disponibilizar um comutador com chave para que a manutenção do sistema envolvido com o acionamento do conjunto motor-bomba possa ser realizada sem risco de choque elétrico, de maneira que, quando houver a necessidade de manutenção, deve-se colocar a chave e vira-la para a posição “desligada” e após, retirá-la do comutador. Desta forma, é possível evitar que alguém religue o sistema regenerativo. Assim, quando este comutador for acionado, duas ações deverão ser realizadas: uma delas consiste em desligar o sistema de controle e de força que comanda o motor-bomba, incluindo neste a desativação de todos os processos envolvidos, bem como a desconexão destes com a fonte de origem regenerativa. Uma vez que estes processos estejam desligados e somente após, será acessa a lâmpada indicando à manutenção que esta pode ser realizada com segurança.</p>
05	<p><b>Uso controlado da energia da concessionária - temporizador:</b> Evitar que a energia gerada pelo sistema regenerativo seja descartada pelo fato do reservatório elevado estar cheio. Portanto, quando o conjunto motor-bomba for acionado pela rede da concessionária, este deverá funcionar por um período de tempo, o suficiente para atender a demanda no curto prazo, ou seja, deixando o reservatório superior com o seu nível d'água acima do nível mínimo, porém bem abaixo do seu nível máximo permitido.</p>
06	<p><b>Controle do acionamento do motor-bomba pelo inversor - Sensor:</b> Evitar que o motor-bomba seja acionado a curtos intervalos de tempo pelo inversor quando o nível d'água do reservatório superior já tenha atingido o seu nível máximo permitido.</p>

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.1.2 Requisitos de Segurança

- Redundância

**Quadro 4 - Requisitos de Segurança**

Necessidade de segurança	Título e Descrição
Sim	<b>Prevenir falha no enchimento do reservatório elevado d'água pelo Inversor de Frequência:</b> Monitorar e acionar o motor-bomba diretamente via rede elétrica da concessionária de energia quando for percebido que o inversor acionou a chave contatora do motor-bomba e que, após isto, registra-se o reservatório elevado d'água não enchendo durante um intervalo de tempo ajustado para este tipo de monitoramento.

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.1.3 Disponibilidade

A disponibilidade do sistema deve atender aos requisitos estipulados a seguir.

##### 4.1.3.1 Requisitos para acordo de nível de serviço (SLA)

**Quadro 5 - Requisitos de nível de serviço**

<i>Disponibilidade do sistema (horas x dias)</i>	<i>Opção</i>	<i>Tempo de indisponibilidade tolerável</i>	<i>Opção</i>
<b>24 x 7</b>	<b>X</b>	<b>&lt; 2 horas</b>	<b>X</b>
12 x 7		< 4 horas	
24 x 5		< 8 horas	
12 x 5		< 12 horas	
8 x 5		> 24 horas	

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.1.3.2 Requisitos de sazonalidade

O sistema não apresenta característica de sazonalidade e, portanto, não contém período crítico segundo este requisito.

#### 4.1.4 Abrangência do Projeto

Este projeto envolve:

1. A inclusão de soluções que permitam o aproveitamento da energia armazenada durante a frenagem de elevadores;
2. A disponibilização de duas formas de solução para o acionamento do motor-bomba utilizado no sistema de enchimento do reservatório elevado d'água: por meio da rede da concessionária de energia elétrica e, prioritariamente, pelo aproveitamento da energia armazenada na frenagem de elevadores.

### 4.2 PROJETO

#### 4.2.1 Esquema elétrico

A partir dos estudos, chegou-se ao esquema elétrico para o sistema do projeto.

No esquema elétrico é apresentado o esquema de comando (Figura 43) e de força (Figura 44) do projeto de aproveitamento da energia gerada pelo uso de freios regenerativos em elevadores residenciais. Alguns pulsadores simulam os sensores presentes no sistema de recalque e alimentação do grupo motor-bomba, são eles:

- S0: nível mínimo do reservatório superior:  
Aberto: nível de água maior que o mínimo;  
Fechado: nível de água chegou ao mínimo.
- S1: nível máximo do reservatório superior:  
Aberto: nível de água menor que o máximo;  
Fechado: nível de água chegou ao máximo.
- S2: nível mínimo do reservatório superior:

Aberto: nível de água maior que o mínimo;

Fechado: nível de água chegou ao mínimo.

A chave e o pulsador restantes representados na simulação são:

- S3: comutadora com chave para desligar a alimentação do motor-bomba pelo sistema regenerativo para que possam ser realizadas manutenções neste sistema;
- S4: pulsador para desligar o alarme de falha do sistema de recalque. Desliga o alarme e volta a energizar o grupo motor-bomba.

Os temporizadores mostrados:

- KT1: tempo em que o grupo motor-bomba será acionado pela rede AC enquanto o sistema regenerativo estiver ligado pela comutadora S3;
- KT2: tempo em que o inversor não pode ser acionado após o reservatório superior chegar ao máximo, para evitar o acionamento intermitente do inversor;
- KT3: tempo de segurança que o reservatório superior pode operar com o nível mínimo de água ou abaixo dele antes de acionar o alarme de falha do sistema de recalque.

As bobinas simuladas são as seguintes:

- K1: contatora de força que aciona o motor-bomba pelo inversor, possui dois contatos auxiliares, um faz o intertravamento com o acionamento pela rede AC e o outro liga o inversor à fonte DC;
- K2: contatora de força que aciona o motor-bomba pela rede AC, possui dois contatos auxiliares para fazer o intertravamento com o acionamento pelo inversor e para fazer o contato de selo mantendo a própria bobina energizada;
- K3: bobina energizada pelo sensor de mínimo do reservatório superior, possui dois contatos auxiliares, um desliga o inversor e o outro liga a rede AC;
- K4: bobina energizada pelo sensor de máximo do reservatório superior, possui três contatos auxiliares, dois desligam o acionamento pelo inversor e pela rede AC e o outro aciona o temporizador em que o inversor não pode ser acionado após o reservatório superior chegar ao máximo;

- K5: bobina energizada pelo sensor de mínimo do reservatório inferior, possui dois contatos auxiliares que desligam o acionamento pelo inversor e pela rede AC;
- K6: bobina energizada quando o sistema regenerativo é desligado pela comutadora com chave, possui dois contatos auxiliares, um desliga o acionamento do motor-bomba pelo inversor e o outro desliga o temporizador para o motor-bomba ser acionado pela rede AC;
- K7: bobina auxiliar do sensor de tensão, possui um contato auxiliar que liga o acionamento do motor-bomba pelo inversor;
- K8: bobina auxiliar do temporizador em que o inversor não pode ser acionado após o reservatório superior chegar ao máximo, desliga o acionamento do motor-bomba pelo inversor;
- K9: bobina auxiliar do temporizador em que o grupo motor-bomba será acionado pela rede AC enquanto o sistema regenerativo estiver ligado pela comutadora S3, após o fim do tempo desliga o acionamento do motor-bomba pela rede AC;
- K10: bobina auxiliar do alarme de falha do sistema de recalque, desliga o acionamento do motor-bomba pelo inversor e pela rede AC.

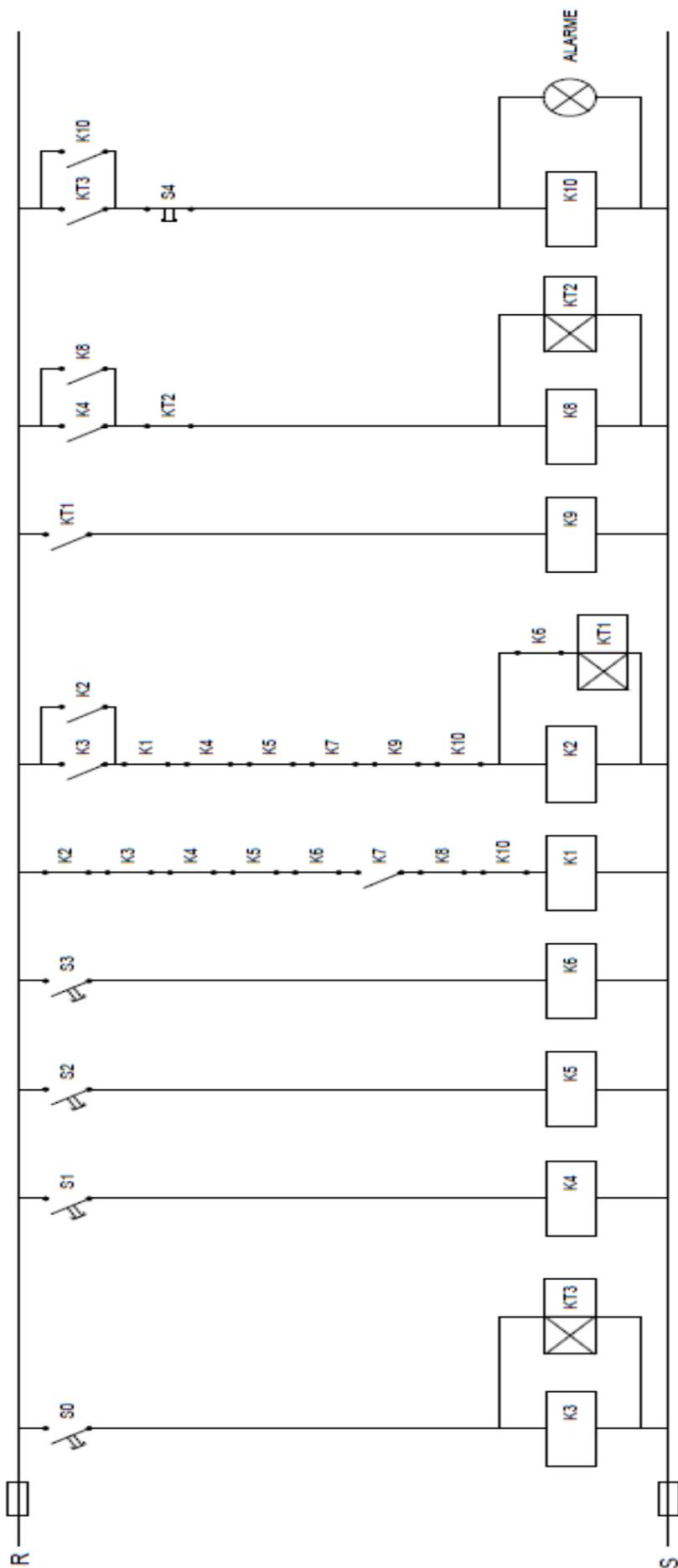


Figura 43 - Esquema elétrico de comando do Projeto

Fonte: Autoria Própria.

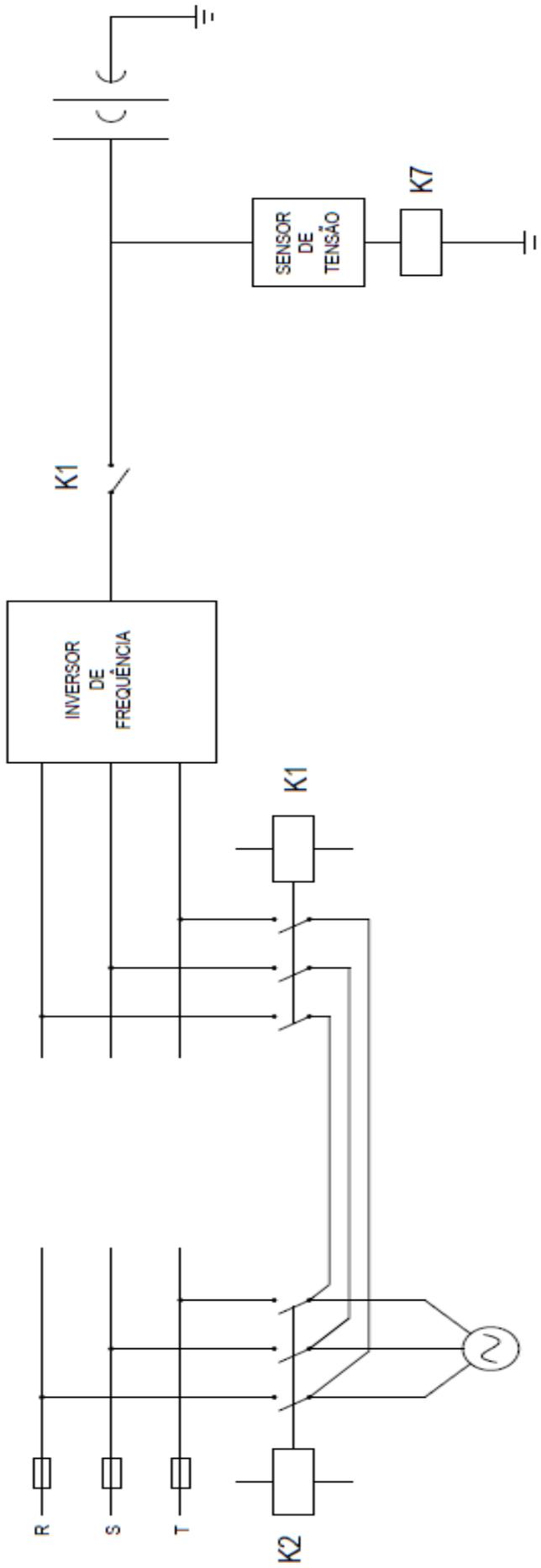


Figura 44 - Esquema elétrico de força do Projeto

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.2 Equipamentos e materiais

De acordo com o esquema elétrico já representado, levantou-se então a lista de equipamentos e materiais necessários para o projeto, que consiste em:

- Grupo motor-bomba, de acordo com as especificações de projeto do edifício a ser instalado;
- 1 inversor WEG, modelo CFW-08, para fazer o controle do motor de acionamento da bomba;
- 1 banco de capacitores, de acordo com as especificações de projeto do edifício a ser instalado;
- 9 contatores, com 4 contatos auxiliares, sendo 2 NF e 2 NA, para a confecção do circuito de lógica, tensão de operação compatível com a da instalação elétrica presente no edifício;
- 3 temporizadores, de acordo com as especificações de projeto necessárias ao edifício em que será instalado;
- 4 botoeiras de acionamento, tensão de operação compatível com a da instalação elétrica presente no edifício;
- 1 comutador com chave para possibilitar a manutenção do sistema regenerativo, tensão de operação compatível com a da instalação elétrica presente no edifício;
- 1 sensor de Tensão, para controlar a tensão do banco de capacitores e realizar o acionamento da alimentação através do sistema regenerativo. Recomenda-se o uso de um microcontrolador para executar esta função. A proposta do sensor encontra-se no APENDICE C.
- 1 Relé, 12Vcc para auxiliar no controle realizado pelo Sensor de Tensão.

### 4.2.3 Especificação dos Processos

O objetivo é garantir o abastecimento d'água predial, acionando o motor-bomba preferencialmente pela energia gerada pela frenagem regenerativa, se, por algum motivo, este acionamento não puder ser realizado o acionamento será por meio da rede AC da concessionária de energia elétrica. O acionamento pela rede AC ocorrerá quando uma das condições relacionadas a seguir for verdadeira:

- A tensão da fonte DC (banco de capacitores) não for suficiente para acionar e manter funcionando o motor-bomba através do inversor;
- O sistema de bombeamento apresentar falha;
- O sistema regenerativo for desligado através do comutador com chave para a realização de manutenção neste sistema.

Este sistema permite que o usuário configure os temporizadores com base nos dados de projeto e de utilização do prédio em questão. Dados como a vazão da bomba de recalque e a capacidade do reservatório superior podem ser utilizados como referência para a determinação de cada um dos tempos. Um dos tempos a ser estabelecido é o que seja o suficiente para abastecer o reservatório pela rede AC com um volume que atenda a demanda d'água no curto prazo.

Também deverá ser determinado o tempo em que o reservatório superior, ao atingir o nível máximo de água, leva para diminuir razoavelmente o seu nível de água. Ao atingir o nível máximo de água no reservatório superior, o sistema do inversor só será ligado novamente quando esse tempo passar. Isto garante que a água só será bombeada novamente quando o volume de água a ser bombeada for igual ou maior ao volume possível de ser bombeado através da energia que o banco de capacitores pode dispor. Assim, evita-se que o sistema do inversor seja ligado intermitentemente durante curtos intervalos de tempo.

A tensão da fonte DC, que armazena a energia gerada na frenagem regenerativa, deve estar de acordo com as características do inversor de frequência. A sua tensão CC deve estar compreendida entre o limite inferior e o limite superior permitido para o barramento CC do inversor, para que o sistema de recalque seja acionado pela energia proveniente da frenagem regenerativa (inversor). O acionamento só deve ocorrer quando a tensão chegar a um valor programado afastado do limite inferior do barramento CC do inversor e próximo do seu limite

superior. Este valor de tensão deve ser inferior ao máximo suportado pelo inversor para que, se a frenagem regenerativa continuar gerando energia durante a sua utilização haja folga para que o valor da tensão não ultrapasse de imediato o máximo e, portanto, postergando a queima de energia em resistores, se necessário. Já para tensões inferiores ao limite inferior do barramento CC do inversor e se for necessário abastecer o reservatório superior, então o sistema de recalque será acionado por meio da energia da concessionária (AC).

Para facilitar o entendimento, utilizou-se um diagrama e a descrição explicativa dos processos envolvidos neste trabalho de conclusão de curso.

## 4.2.3.1 Diagrama dos Processos

## ENTRADAS

- Nível Máximo do Reservatório Superior (A/F)
- Nível Mínimo do Reservatório Superior (A/F)
- Nível Mínimo do Reservatório Inferior (A/F)
- Tensão da fonte DC

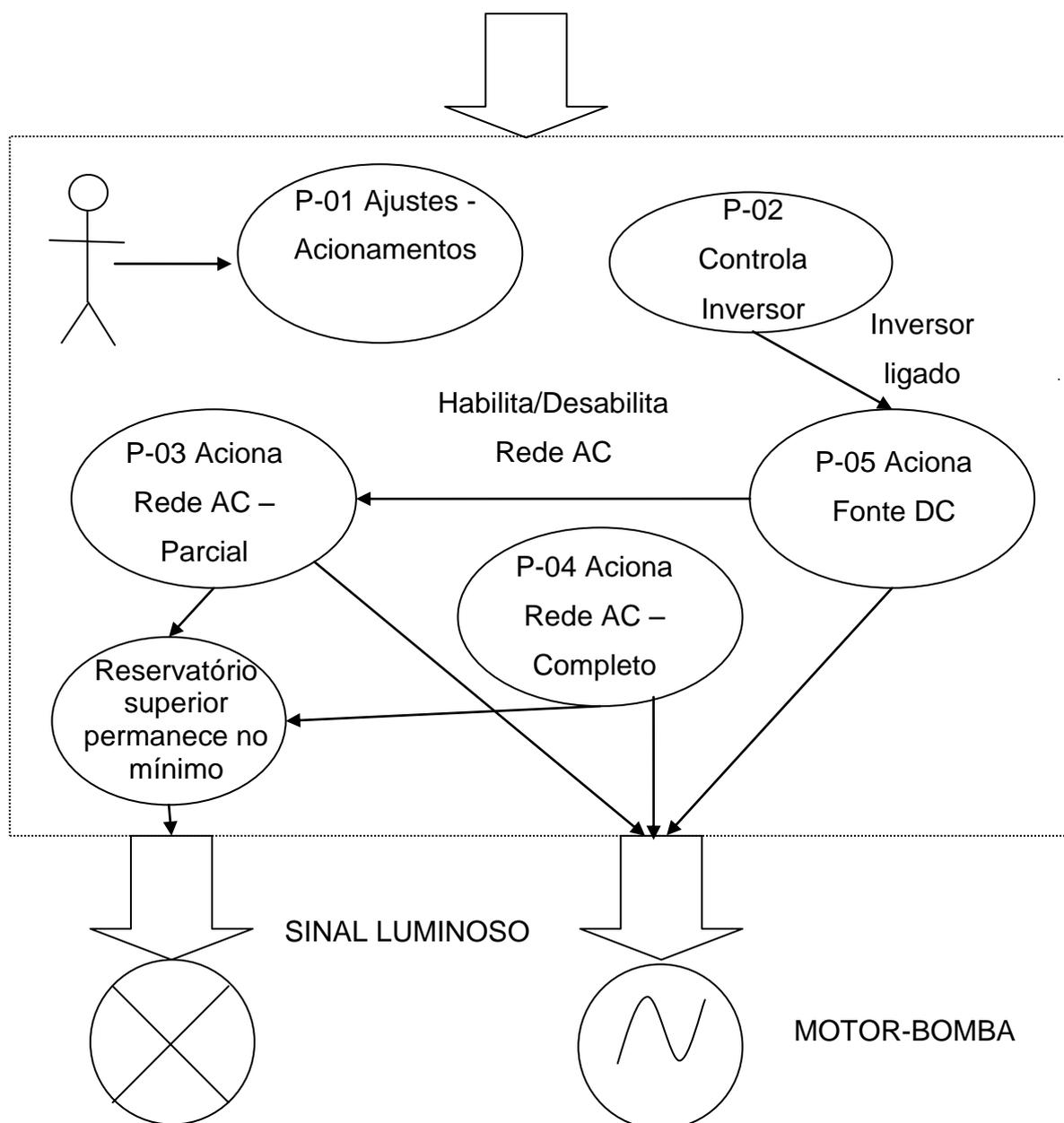


Figura 45 - Diagrama dos processos

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.3.2 Variáveis

- Nível Máximo do Reservatório Superior. Estado da bóia do nível máximo do reservatório superior (A/F). Sinaliza apenas dois estados:
  - Aberto (**A**), quando o circuito controlado por esta bóia está aberto. Neste estado indica que o **reservatório superior não atingiu o seu nível máximo**;
  - Fechado (**F**), quando o circuito controlado por esta bóia está fechado. Neste estado indica que o **reservatório superior atingiu o seu nível máximo**.
- Nível Mínimo do Reservatório Superior. Estado da bóia do nível mínimo do reservatório superior (A/F). Sinaliza apenas dois estados:
  - Aberto (**A**), quando o circuito controlado por esta bóia está aberto. Neste estado indica que o **nível do reservatório superior está acima do nível mínimo**;
  - Fechado (**F**), quando o circuito controlado por esta bóia está fechado. Neste estado indica que o **reservatório superior atingiu o seu nível mínimo**.
- Nível Mínimo do Reservatório Inferior. Estado da bóia do nível mínimo do reservatório inferior (A/F). Sinaliza apenas dois estados:
  - Aberto (**A**), quando o circuito controlado por esta bóia está aberto. Neste estado indica que o **nível do reservatório inferior está acima do nível mínimo**;
  - Fechado (**F**), quando o circuito controlado por esta bóia está fechado. Neste estado indica que o **reservatório inferior atingiu o seu nível mínimo**.
- Tensão da fonte DC. Existem três grandezas que são ajustadas pelo usuário: programada da fonte DC. Para o acionamento do inversor ( $E_{PROG}$ ):
  - Tensão Inferior da Fonte DC ( $E_{MIN}$ ). Estabelece o valor inferior de tensão de operação do barramento CC do inversor.
  - Tensão Superior da Fonte DC ( $E_{MAX}$ ). Estabelece o valor superior de tensão de operação do barramento CC do inversor.
  - Tensão Programada para Acionar o Inversor ( $E_{PROG}$ ). Esta tensão deve estar compreendida entre o mínimo e o máximo permitido pelo

barramento CC do inversor e, de preferência, afastada da tensão mínima e próxima da máxima.

- Situação do Inversor. Indica dois estados:
  - LIGADO (L) – quando o barramento CC do inversor está ligado à fonte DC, permitindo que o bombeamento d'água possa ser realizado utilizando a energia armazenada na frenagem regenerativa.
  - DESLIGADO (D) – quando o barramento CC do inversor está desligado da fonte DC.
- Manutenção do Sistema de Bombeamento. Utilizado para que o sistema de bombeamento seja liberado para a manutenção. Sinaliza dois estados
  - LIGADO (L) – quando o usuário desliga todo o sistema de bombeamento para que a manutenção seja realizada com segurança.
  - DESLIGADO (D) – quando o sistema de bombeamento está liberado para funcionar.
- Manutenção do Sistema Regenerativo de Energia. A comutadora com chave controla a alimentação do motor-bomba pelo sistema regenerativo. Sinaliza apenas dois estados:
  - LIGADO (L). Neste estado indica que a **alimentação do grupo motor-bomba será realizada exclusivamente pela energia da concessionária.**
  - DESLIGADO (D). Neste estado indica que a **alimentação do grupo motor-bomba poderá ser realizada pela energia proveniente da frenagem regenerativa (Fonte DC);**
- Defeito no Sistema de Bombeamento. Acionado quando percebe-se defeito no sistema de bombeamento e, neste caso, o sistema utilizado no recalque d'água é desligado e o alarme é acionado. Os estados são:
  - LIGADO (L). Neste estado indica que há defeito no sistema de recalque. Nesta situação, o sistema de recalque está desligado e o alarme está acionado.
  - DESLIGADO (D). Neste estado entende-se que não há defeito ou então este foi sanado e o sistema de bombeamento liberado.
- Acionamento pela Rede AC. Utilizado para habilitar ou desabilitar o bombeamento pela rede AC quando o processo que controla o bombeamento

pelo inversor for ativado. Com isto é dada prioridade ao uso da energia regenerativa proveniente da frenagem dos elevadores. Os estados são:

- HABILITADO (**H**). Neste estado indica que o bombeamento pela rede AC está liberado.
- DESABILITADO (**D**). Neste estado desativa o bombeamento pela rede AC se o bombeamento pelo inversor for ativado.
- Temporizador – Enchimento Parcial do Reservatório Superior. Estabelece o tempo para abastecer o reservatório pela rede AC com um volume que seja o suficiente para atender a demanda d'água no curto prazo. Sinaliza apenas dois estados:
  - LIGADO (**L**). Neste estado indica que o temporizador foi ativado e o tempo está dentro do limite estabelecido.
  - DESLIGADO (**D**). Neste estado indica que o temporizador não foi ativado ou que o tempo estabelecido para este expirou.
- Temporizador - Nível Máximo do Reservatório Superior. Este temporizador é utilizado para que o reservatório superior tenha tempo para diminuir o seu nível d'água quando este atinge o limite superior, antes de acionar o inversor novamente (L/D). Sinaliza apenas dois estados:
  - LIGADO (**L**). Neste estado indica que o temporizador foi ativado e o tempo está dentro do limite estabelecido, impossibilitando o inversor de ser acionado.
  - DESLIGADO (**D**). Neste estado indica que o temporizador não foi ativado ou que o tempo estabelecido para este expirou, possibilitando o acionamento do inversor.

#### 4.2.3.3 Processo **P-01** – Ajustes - Acionamentos

##### 4.2.3.3.1 Descrição

Efetua os ajustes das seguintes variáveis:

- Tensão Inferior da Fonte DC ( $E_{MIN}$ ).
- Tensão Superior da Fonte DC ( $E_{MAX}$ ).
- Tensão Programada para Acionar o Inversor ( $E_{PROG}$ ).
- Temporizador - Nível Máximo do Reservatório Superior.

Controla os chaveamentos para ativar e/ou desativar:

- Manutenção do Sistema de Bombeamento.
- Manutenção do Sistema Regenerativo de Energia.
- Defeito no Sistema de Bombeamento.

#### 4.2.3.4 Processo **P-02** – Controla o Inversor

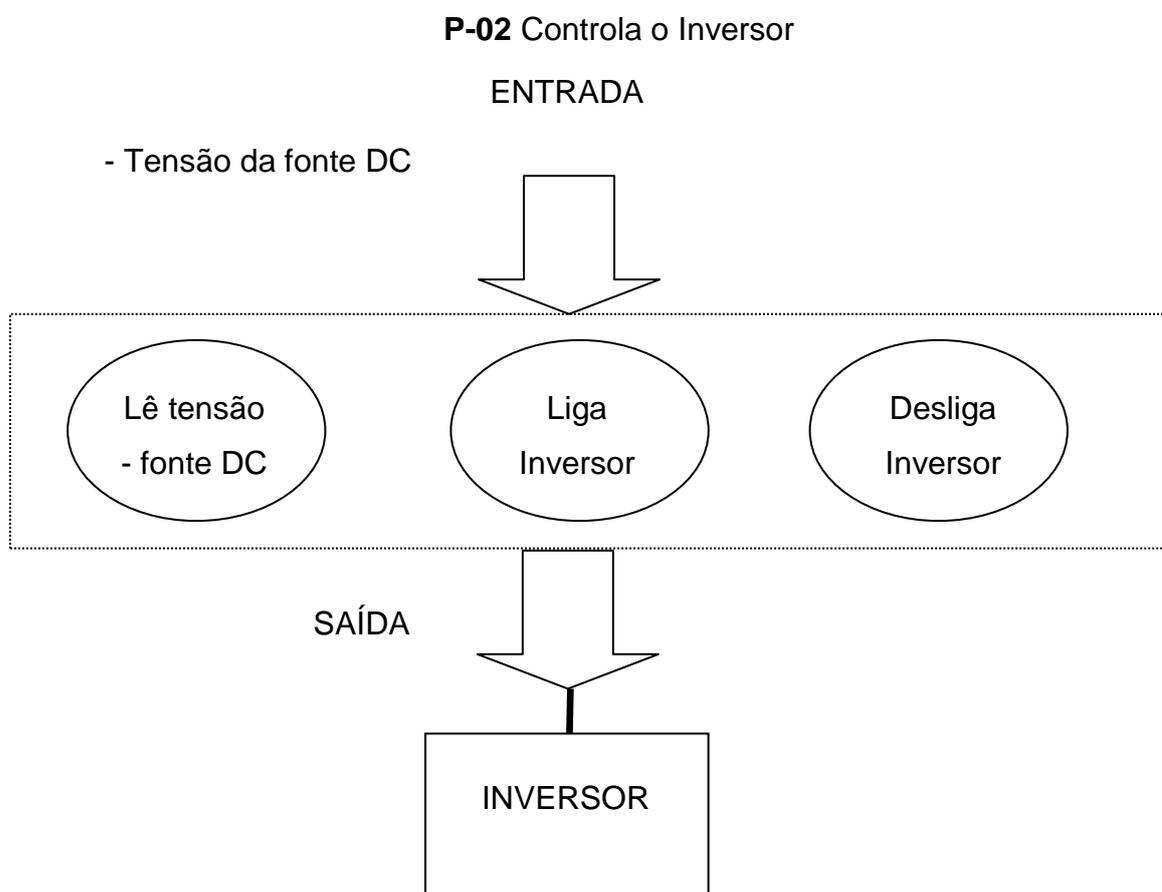
##### 4.2.3.4.1 Descrição

Garantir que o Inversor opere enquanto haja tensão o suficiente na fonte DC para atender ao barramento CC do próprio inversor.

##### 4.2.3.4.2 Pré-condições (para **ativar** o processo **P-02**)

- Manutenção do Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Defeito no Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Manutenção do Sistema Regenerativo de Energia – DESLIGADO.

##### 4.2.3.4.3 Diagrama (uma vez **ativado** o processo **P-02**)



**Figura 46 - Processo P-02**

Fonte: Autoria Própria.

4.2.3.4.4 Fluxo do processo (**P-02**)**INICIO**

**LE** Tensão da fonte DC.

**SE**

Tensão da Fonte DC  $\geq$  Tensão Programada para Acionar o Inversor ( $E_{PROG}$ ).

**ENTÃO****FAÇA ENQUANTO (**

Tensão da fonte DC for superior ao mínimo do barramento do inversor ( $>$  Tensão Inferior da Fonte DC ( $E_{MIN}$ ))  
)

**HABILITA** Inversor (Situação do Inversor = LIGADO)

**FIM DO ENQUANTO.****SENÃO**

**DESABILITA** Inversor (Situação do Inversor = DESLIGADO)

**TÉRMINO**

Processo **P-03** – P-03 Aciona Rede AC – Situação 1

4.2.3.5 Processo **P-03** - Aciona Rede AC – Ciclo Parcial

## 4.2.3.5.1 Descrição

Garantir o abastecimento parcial d'água predial, acionando o motor-bomba por meio da rede AC. O tempo de abastecimento está limitado pelo Temporizador – Enchimento Parcial do Reservatório Superior.

4.2.3.5.2 Pré-condições (para **ativar** o processo **P-03**)

- Manutenção do Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Defeito no Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Manutenção do Sistema Regenerativo de Energia – DESLIGADO.
- Acionamento pela Rede AC - HABILITADO
- Nível Mínimo do Reservatório Superior – atingido - FECHADO (F)

4.2.3.5.3 Diagrama (depois de **ativado** o processo **P-03**)

### P-03 Aciona rede AC - Ciclo parcial

#### ENTRADAS

- Acionamento pela Rede AC
- Nível Máximo do Reservatório Superior (A/F)
- Nível Mínimo do Reservatório Superior (A/F) - Rede AC
- Nível Mínimo do Reservatório Inferior (A/F) - Rede AC

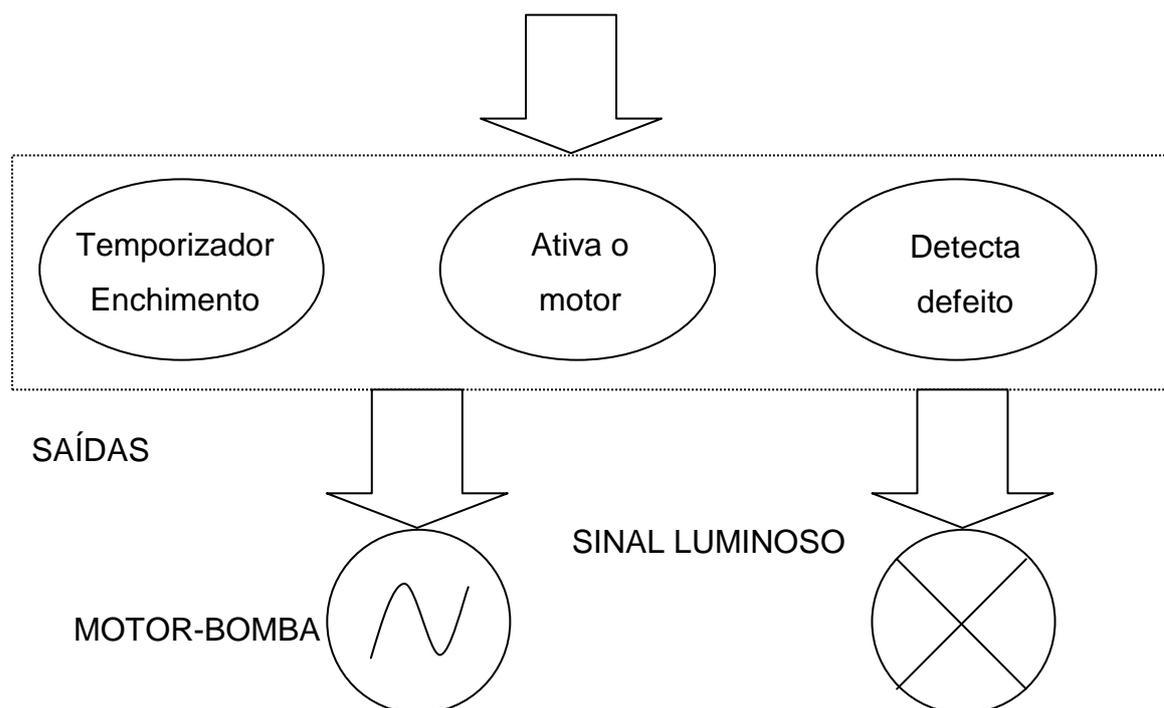


Figura 47 - Processo P-03

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.3.5.4 Fluxo do processo (P-03)

##### INICIO

**ATIVA** Temporizador – Enchimento Parcial do Reservatório Superior.

**FAÇA ENQUANTO (**

Acionamento pela Rede AC - HABILITADO

**E**

Nível Máximo do Reservatório Superior não for atingido (chave aberta)

**E**

Nível Mínimo do Reservatório Inferior não for atingido (chave aberta)

**E**

Temporizador – Enchimento Parcial do Reservatório Superior estiver  
LIGADO

)

**ATIVA/MANTEM ATIVADO** o motor-bomba.

**FIM DO ENQUANTO.**

Detecta defeito no enchimento.

**SE**

Nível Mínimo do Reservatório Superior for atingido (chave fechada)

**ENTÃO**

**ATIVA** Defeito no Sistema de Bombeamento, desligando o sistema de bombeamento e ligando o alarme.

**SENÃO**

Continua

**TÉRMINO**

4.2.3.6 Processo **P-04** - Aciona Rede AC – Ciclo Completo

4.2.3.6.1 Descrição

Garantir o abastecimento completo d'água predial, acionando o motor-bomba por meio da rede AC até que o reservatório esteja totalmente cheio. Este processo é ativado somente quando o sistema regenerativo está em manutenção.

4.2.3.6.2 Pré-condições (para **ativar** o processo **P-04**)

- Manutenção do Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Defeito no Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Manutenção do Sistema Regenerativo de Energia –LIGADO.
- Nível Mínimo do Reservatório Superior – atingido - FECHADO (F)

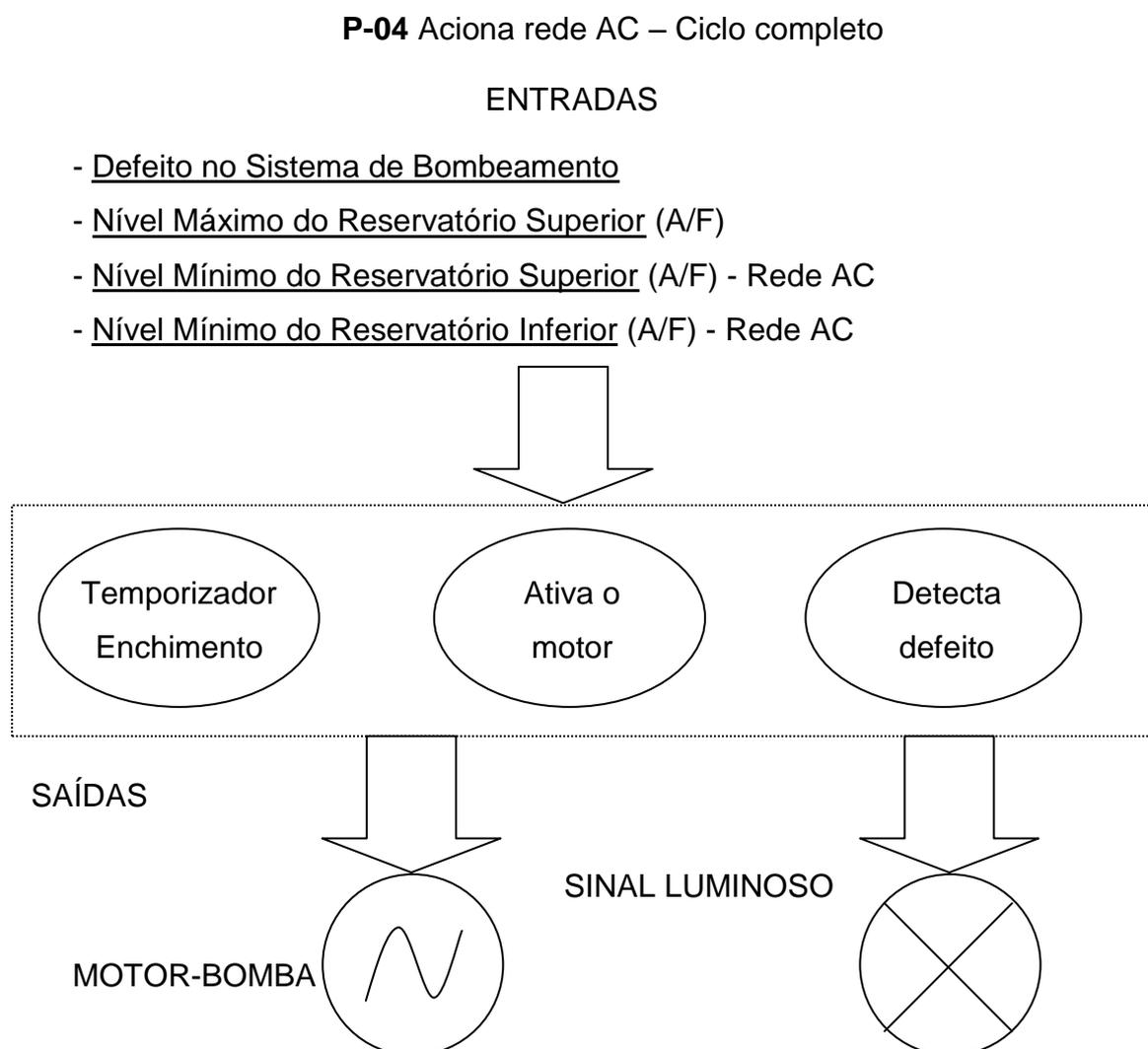
4.2.3.6.3 Diagrama (depois de **ativado** o processo **P-04**)

Figura 48 - Processo P-04

Fonte: Autoria Própria.

4.2.3.6.4 Fluxo do processo (**P-04**)**INICIO****ATIVA** Temporizador – Enchimento Parcial do Reservatório Superior.**FAÇA ENQUANTO (**Nível Máximo do Reservatório Superior não for atingido (chave aberta)**E**Nível Mínimo do Reservatório Inferior não for atingido (chave aberta)**E**

Defeito no Sistema de Bombeamento – DESLIGADO

)

**ATIVA/MANTEM ATIVADO** o motor-bomba.

Detecta defeito no enchimento.

**SE (**

Temporizador – Enchimento Parcial do Reservatório Superior estiver DESLIGADO

**E**

Nível Mínimo do Reservatório Superior for atingido (chave fechada)

)

**ENTÃO**

**ATIVA** Defeito no Sistema de Bombeamento, desligando o sistema de bombeamento e ligando o alarme (Defeito no Sistema de Bombeamento = LIGADO).

**SENÃO**

Continua

**FIM DO ENQUANTO.**

Continua

**TÉRMINO**

4.2.3.7 Processo **P-05** – Aciona o motor-bomba pelo Inversor

4.2.3.7.1 Descrição

Garantir o abastecimento d'água predial, acionando o motor-bomba por meio do inversor. Utiliza a energia proveniente do sistema regenerativo (fonte DC).

4.2.3.7.2 Pré-condições (para **ativar** o processo **P-05**)

- Manutenção do Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Defeito no Sistema de Bombeamento – DESLIGADO.
- Manutenção do Sistema Regenerativo de Energia – DESLIGADO.
- Situação do Inversor = LIGADO
- Temporizador - Nível Máximo do Reservatório Superior - DESLIGADO

- Nível Mínimo do Reservatório Superior – não atingido - ABERTO (A)

#### 4.2.3.7.3 Diagrama (depois de **ativado** o processo **P-05**)

##### **P-05** Aciona o motor-bomba pelo Inversor

###### ENTRADAS

- Situação do Inversor
- Nível Máximo do Reservatório Superior (A/F)
- Nível Mínimo do Reservatório Superior (A/F) - Rede AC
- Nível Mínimo do Reservatório Inferior (A/F) - Rede AC

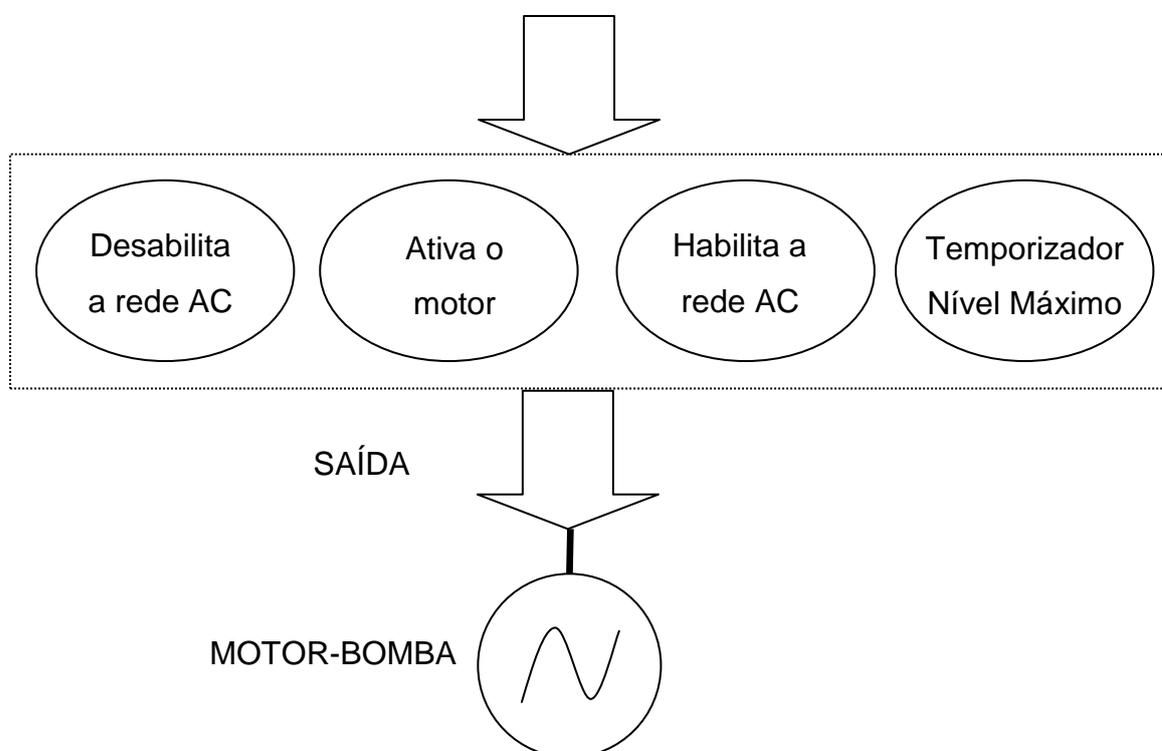


Figura 49 - Processo P-05

Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.3.7.4 Fluxo do processo (**P-05**)

##### INICIO

**DESABILITA** o Acionamento pela Rede AC.

**FAÇA ENQUANTO** (

Situação do Inversor = LIGADO – inversor ligado barramento CC

**E**  
Nível Máximo do Reservatório Superior não for atingido (chave aberta)  
**E**  
Nível Mínimo do Reservatório Superior não for atingido (chave aberta)  
**E**  
Nível Mínimo do Reservatório Inferior não for atingido (chave aberta)  
**)**

**ATIVA/MANTEM ATIVADO** o motor-bomba.

**FIM DO ENQUANTO.**

**HABILITA** o Acionamento pela Rede AC.

**SE**

Nível Máximo do Reservatório Superior for atingido (chave fechada)

**ENTÃO**

**LIGA** Temporizador - Nível Máximo do Reservatório Superior.

**SENÃO**

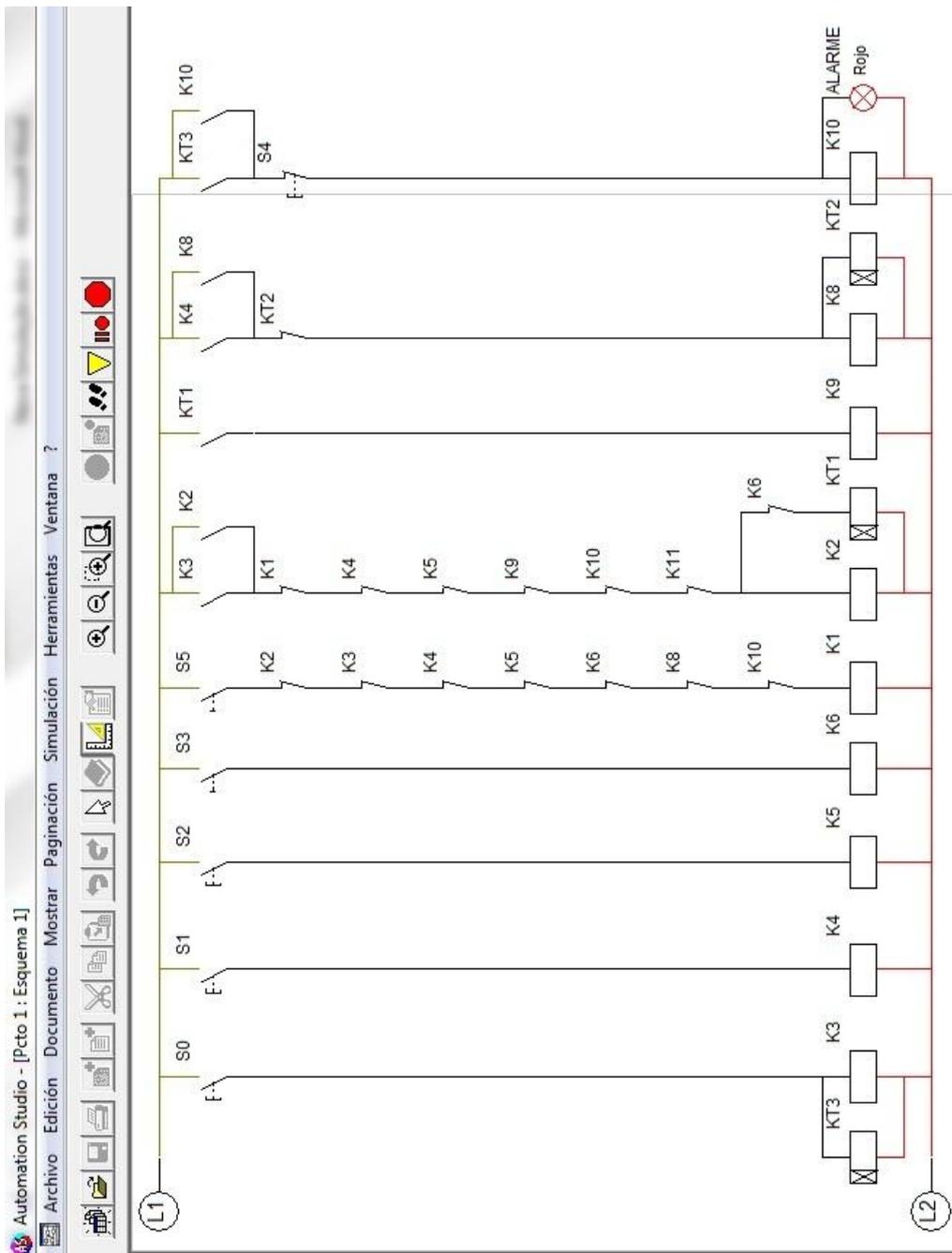
Continua

**TÉRMINO**

#### 4.2.4 Simulação do projeto

Antes da confecção do experimento, foram realizadas várias simulações sobre o circuito de controle proposto, utilizando o software “Automation Studio”. Os resultados das simulações constam nas Figura 50 à Figura 62 a seguir.

Vale ressaltar que nas simulações o sensor de tensão do barramento CC da fonte que responde pelo armazenamento da energia regenerativa (banco de capacitores), foi representado através de uma botoeira em série à bobina K1, bobina esta responsável pelo acionamento do motor-bomba por meio do sistema regenerativo. Quando este botão estiver aberto, entende-se que a tensão no banco de capacitores é insuficiente para o acionamento do grupo motor-bomba por meio do inversor. Porém quando o botão estiver fechado, interpreta-se que a tensão no barramento CC é suficiente para atender à bomba-motor de recalque.



**Figura 50 - Tensão insuficiente na fonte DC (S5) e o mínimo do reservatório superior não foi atingido (S0), o grupo motor-bomba não é alimentado por nenhuma das duas fontes de energia(K1 e K2)  
 Fonte: Autoria Própria.**

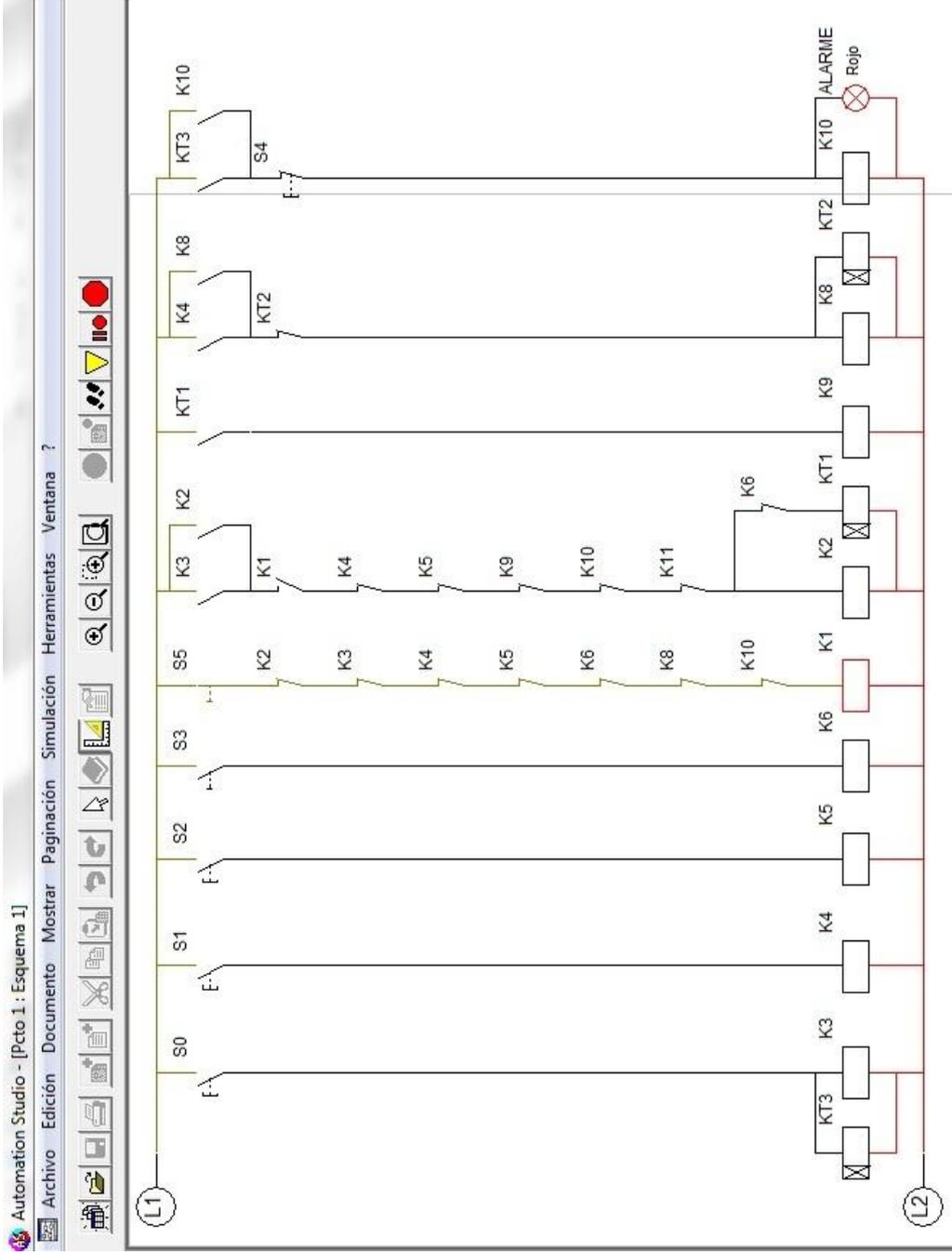


Figura 51 - Quando a tensão na fonte DC é suficiente (S5) o grupo motor-bomba é acionado pelo inversor (K1)

Fonte: Autoria Própria.

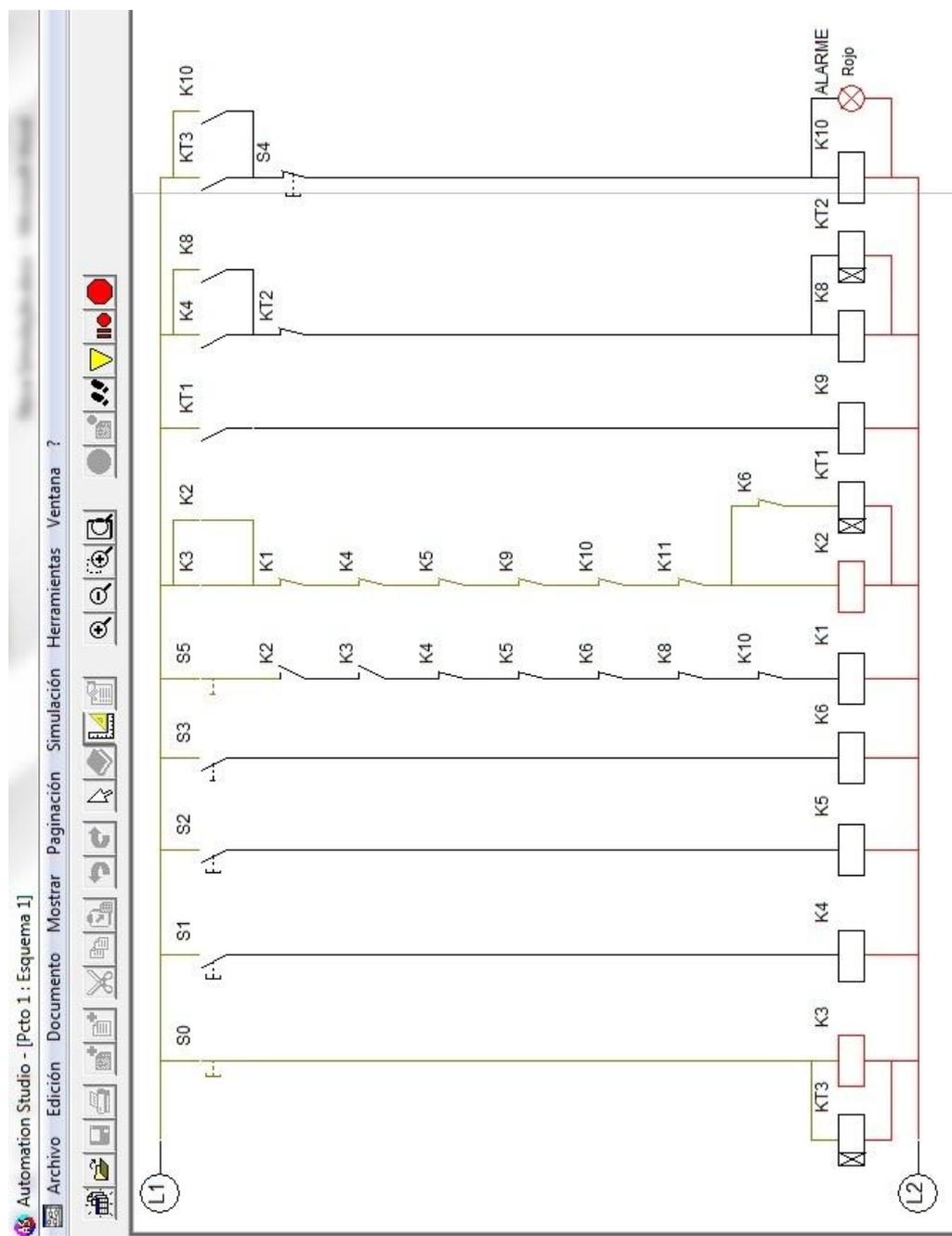
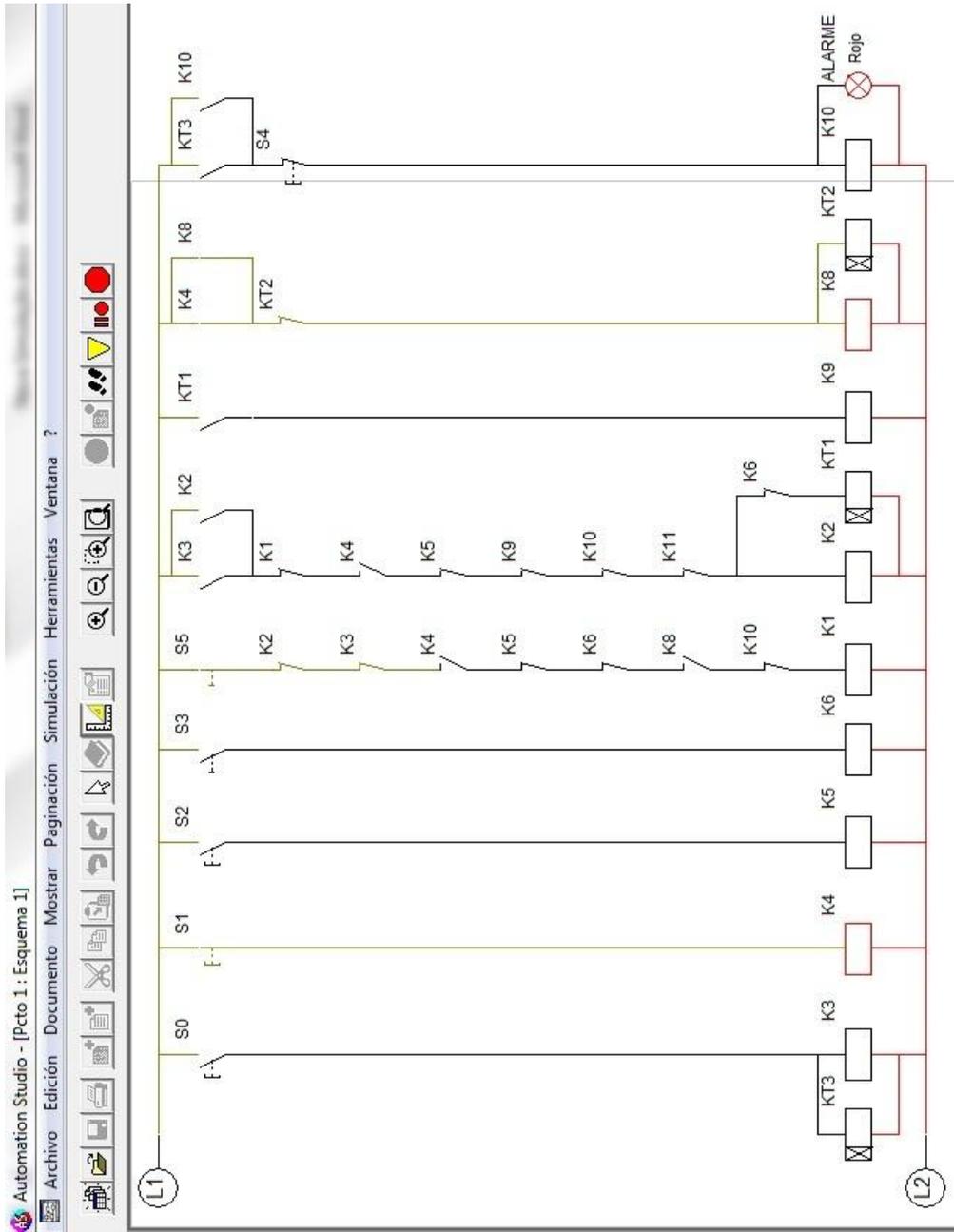


Figura 52 - Mesmo que a tensão da fonte DC seja suficiente (S5), se o mínimo do reservatório superior for atingido (S0), o motor-bomba é acionado pela rede AC (K2) apenas durante um tempo pré-definido (KT1)

Fonte: Autoria Própria.



**Figura 53 - Quando o reservatório superior atinge o máximo (S1) a alimentação do motor-bomba não é realizada por nenhuma das duas fontes de energia (K1 e K2)**  
**Fonte: Autoria Própria.**

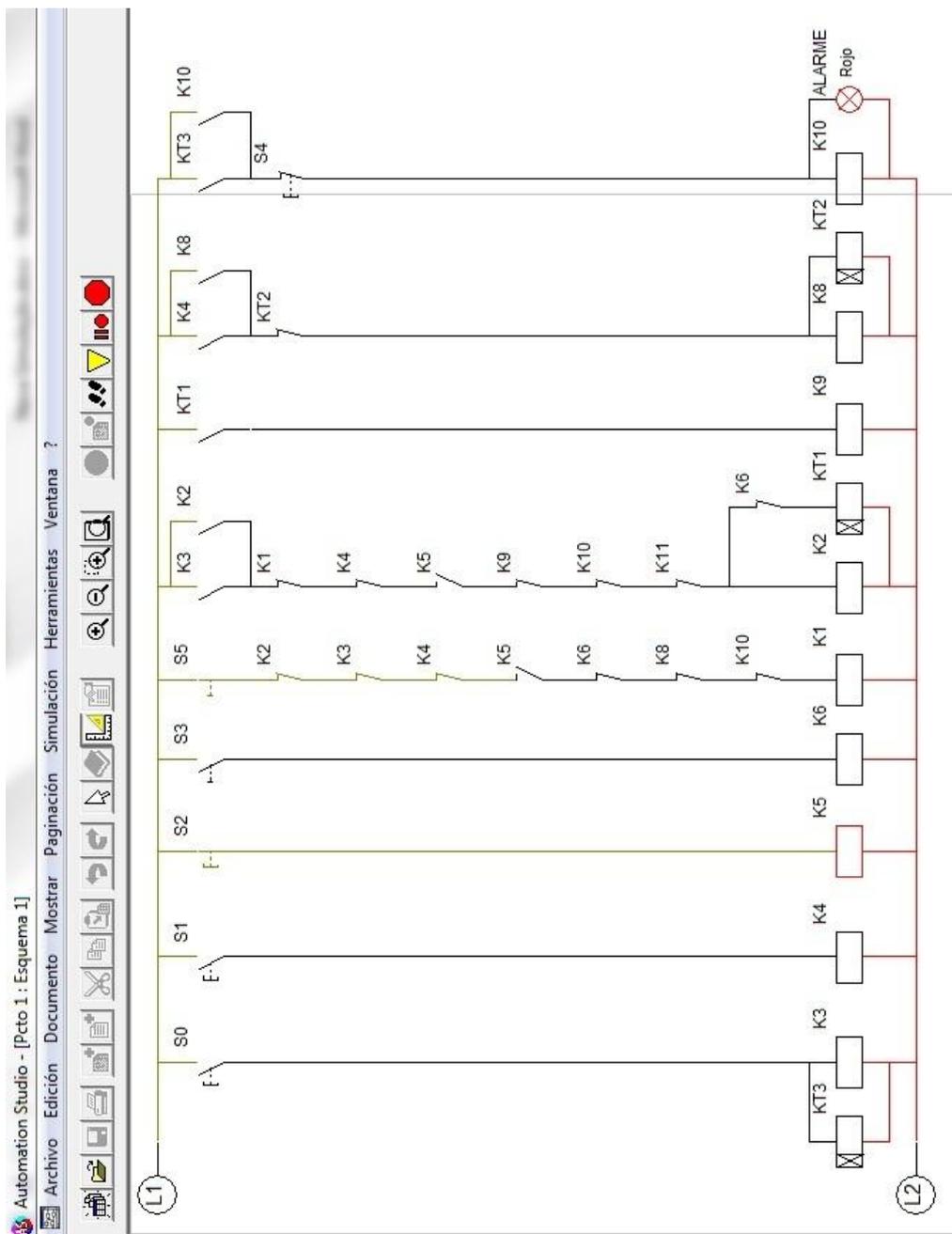
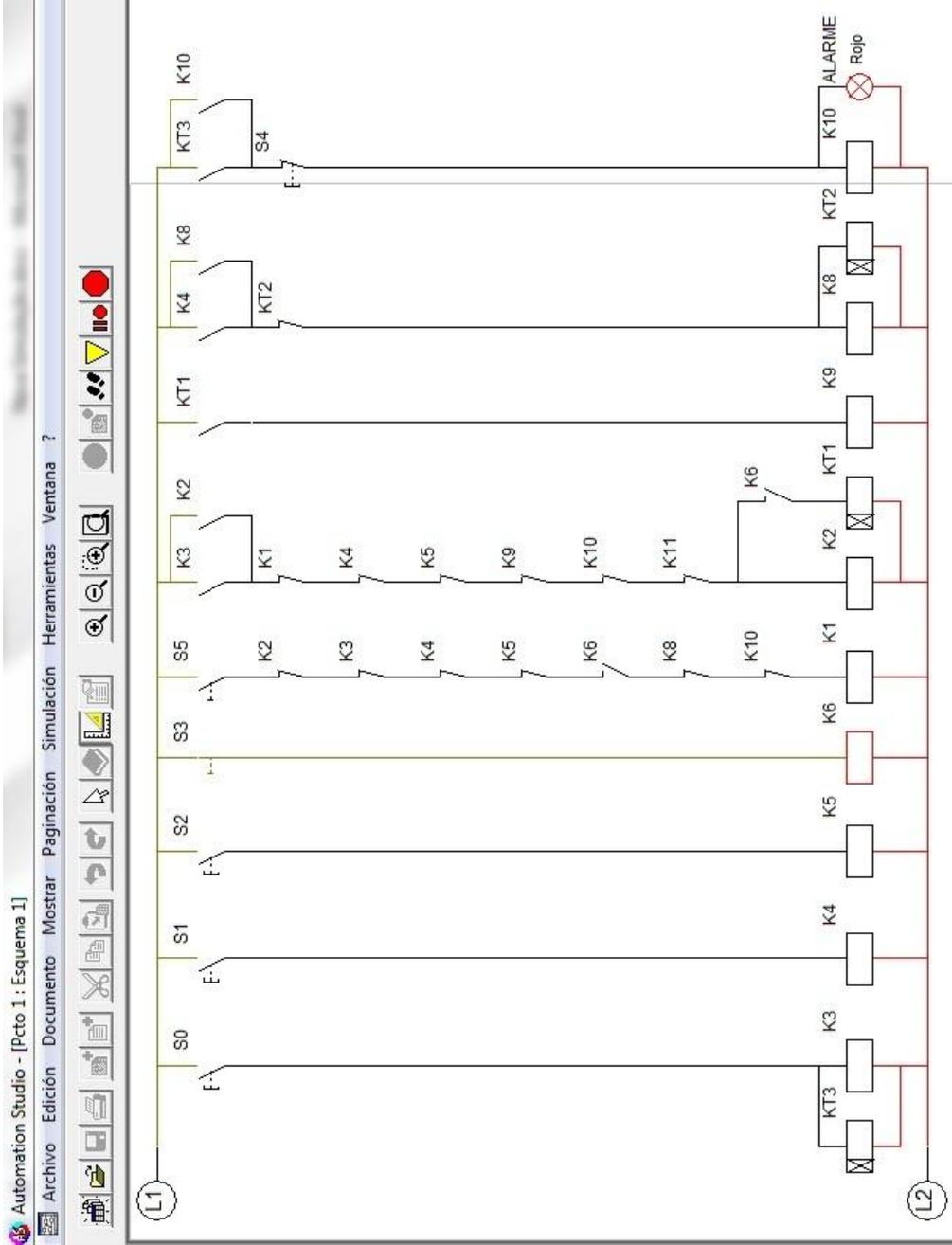


Figura 54 - Quando o reservatório inferior atinge o mínimo (S2) a alimentação do motor-bomba não é realizada por nenhuma das duas fontes de energia (K1 e K2)

Fonte: Autoria Própria.



**Figura 55 - Quando o sistema regenerativo é desligado pela comutadora com chave (S3) o motor-bomba não pode ser alimentado pelo inversor (K1)**

Fonte: Autoria Própria.

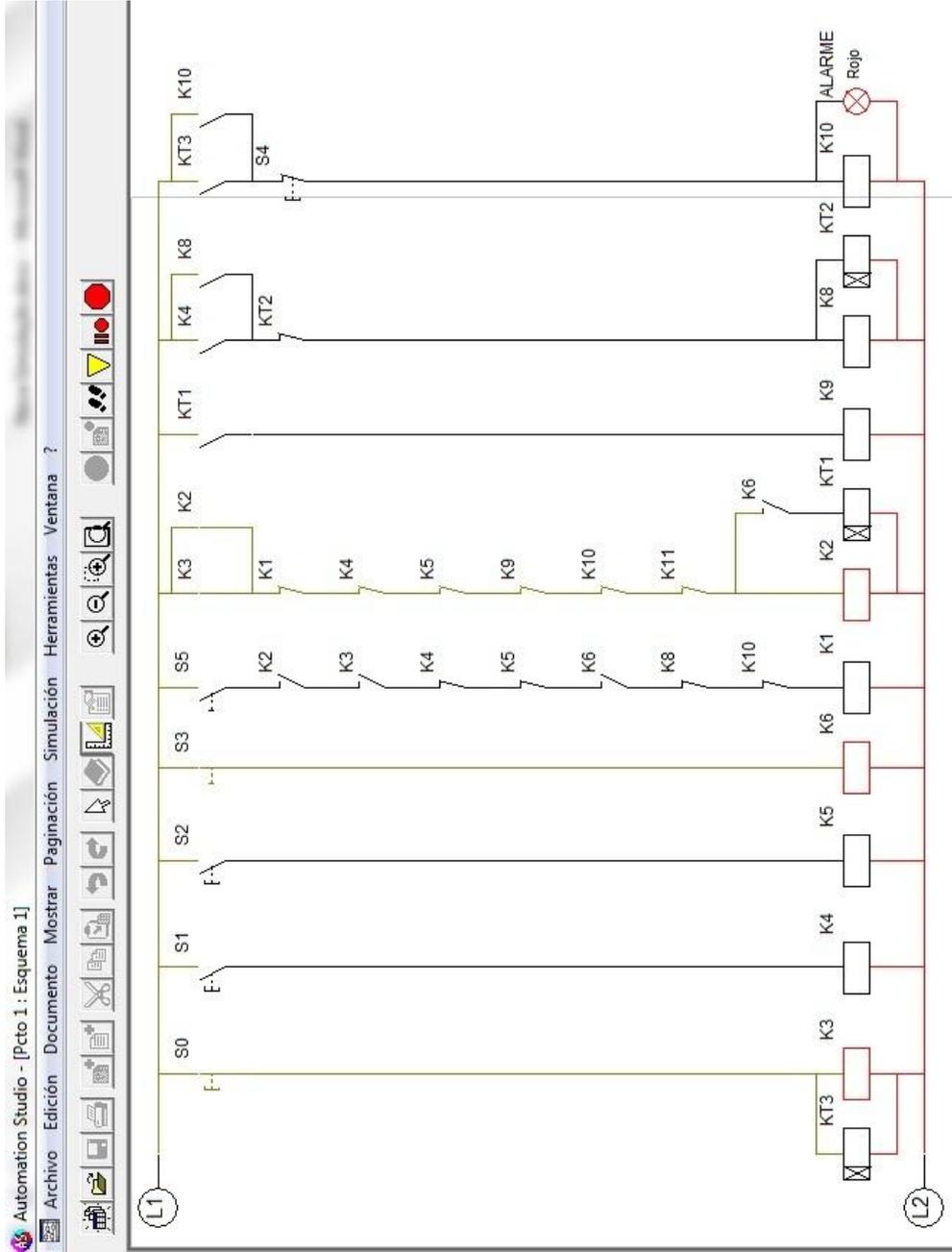
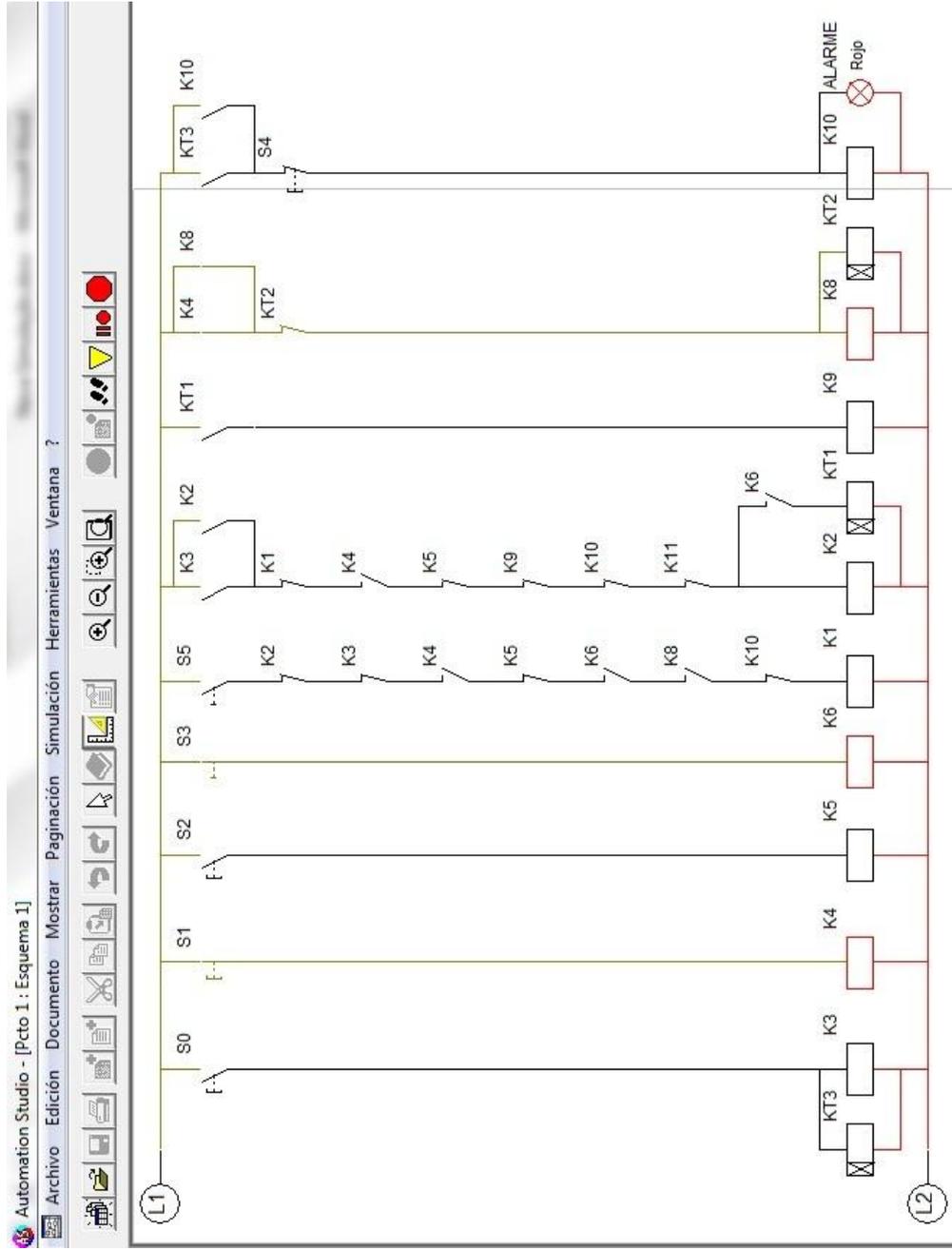


Figura 56 - Com o sistema regenerativo desligado, quando o reservatório superior atinge o mínimo (S0) o motor-bomba é acionado pela rede AC (K2) sem a temporização (KT1)

Fonte: Autoria Própria.



**Figura 57 - Quando o reservatório superior atinge o máximo (S1) a alimentação do motor-bomba a alimentação pela rede AC (K2) é desligada**  
**Fonte: Autoria Própria.**

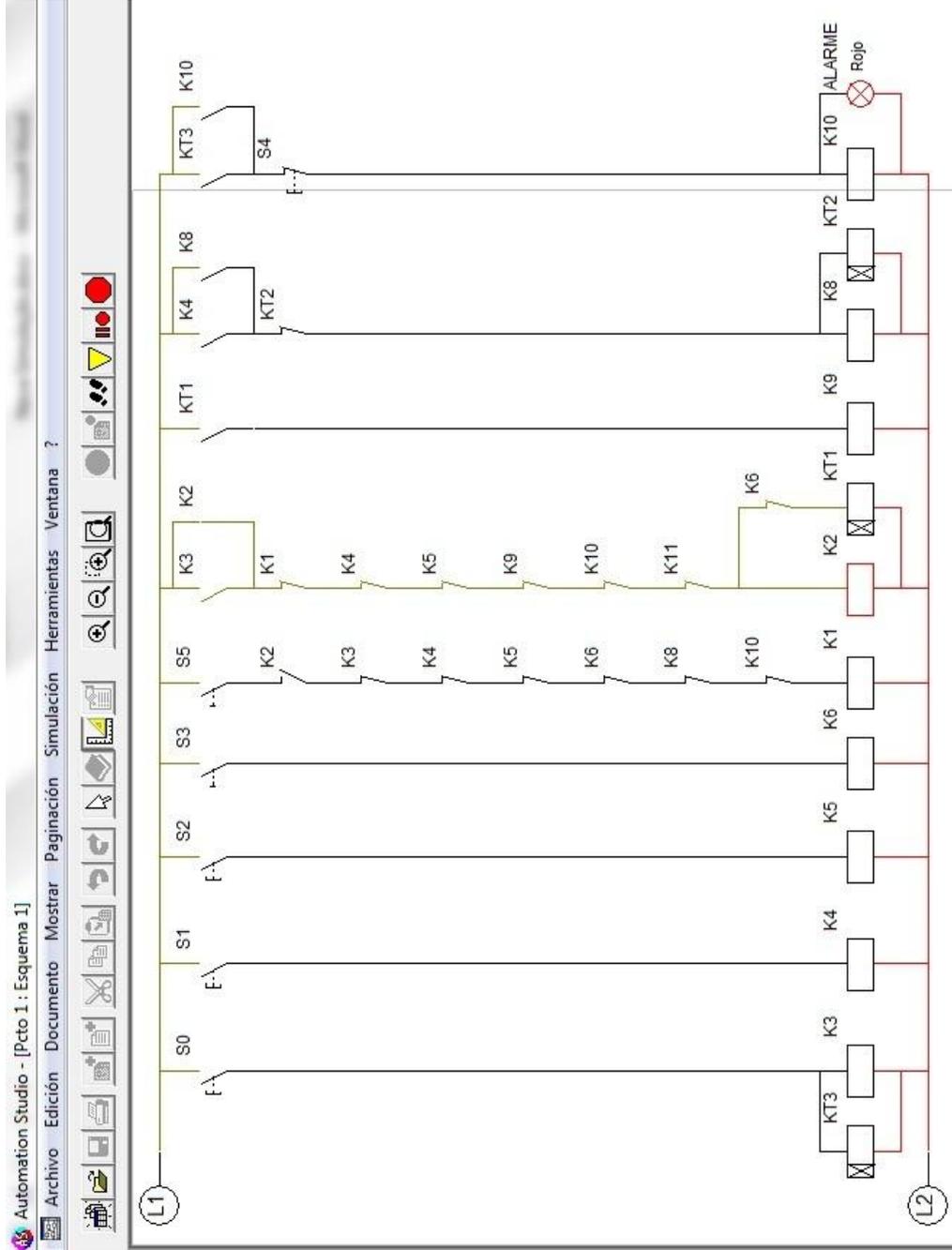


Figura 58 - Quando o reservatório superior atinge o máximo (S1) a temporização de segurança (KT3) é iniciada, durante esse tempo o motor-bomba ainda é acionado pela rede AC (K2)  
 Fonte: Autoria Própria.

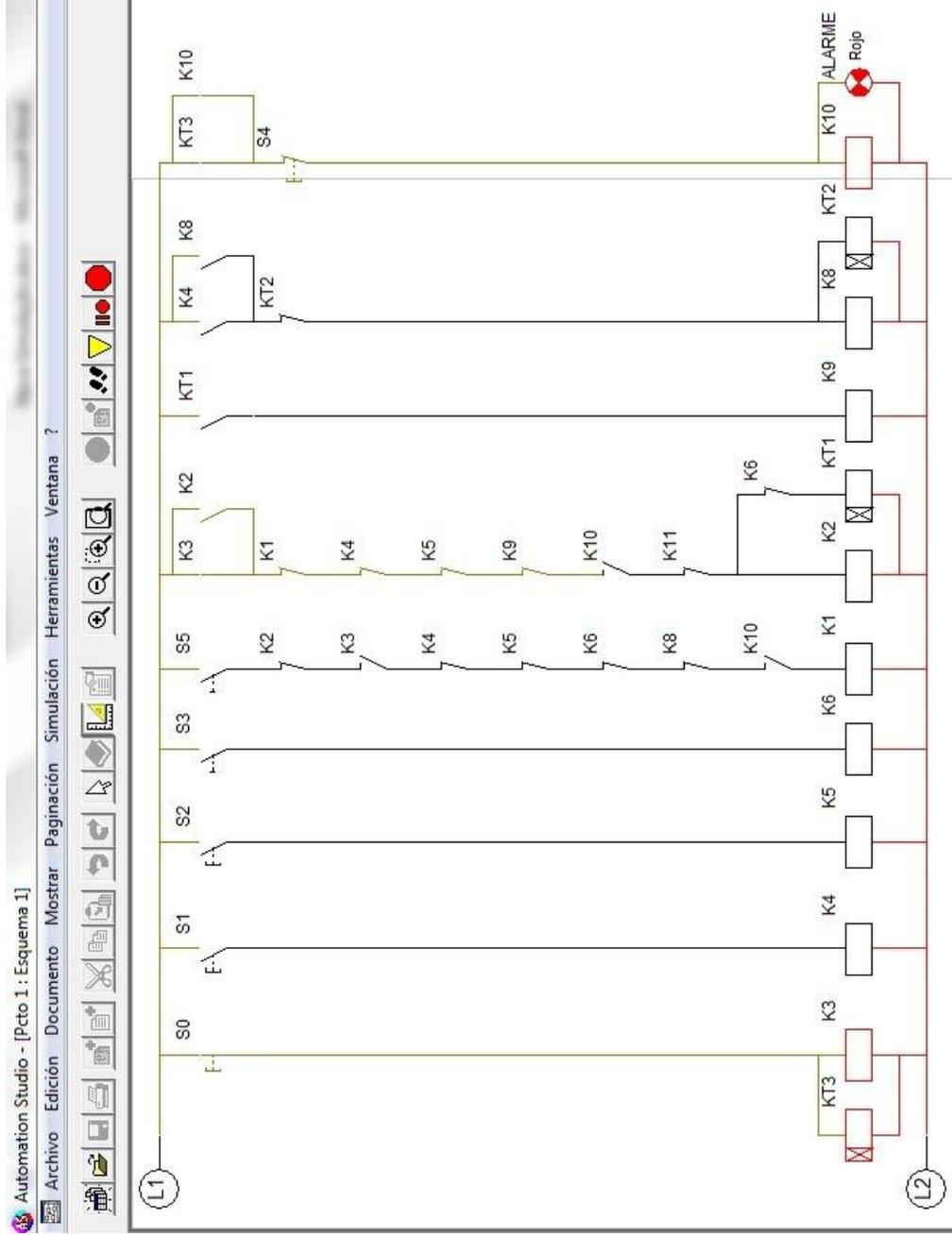
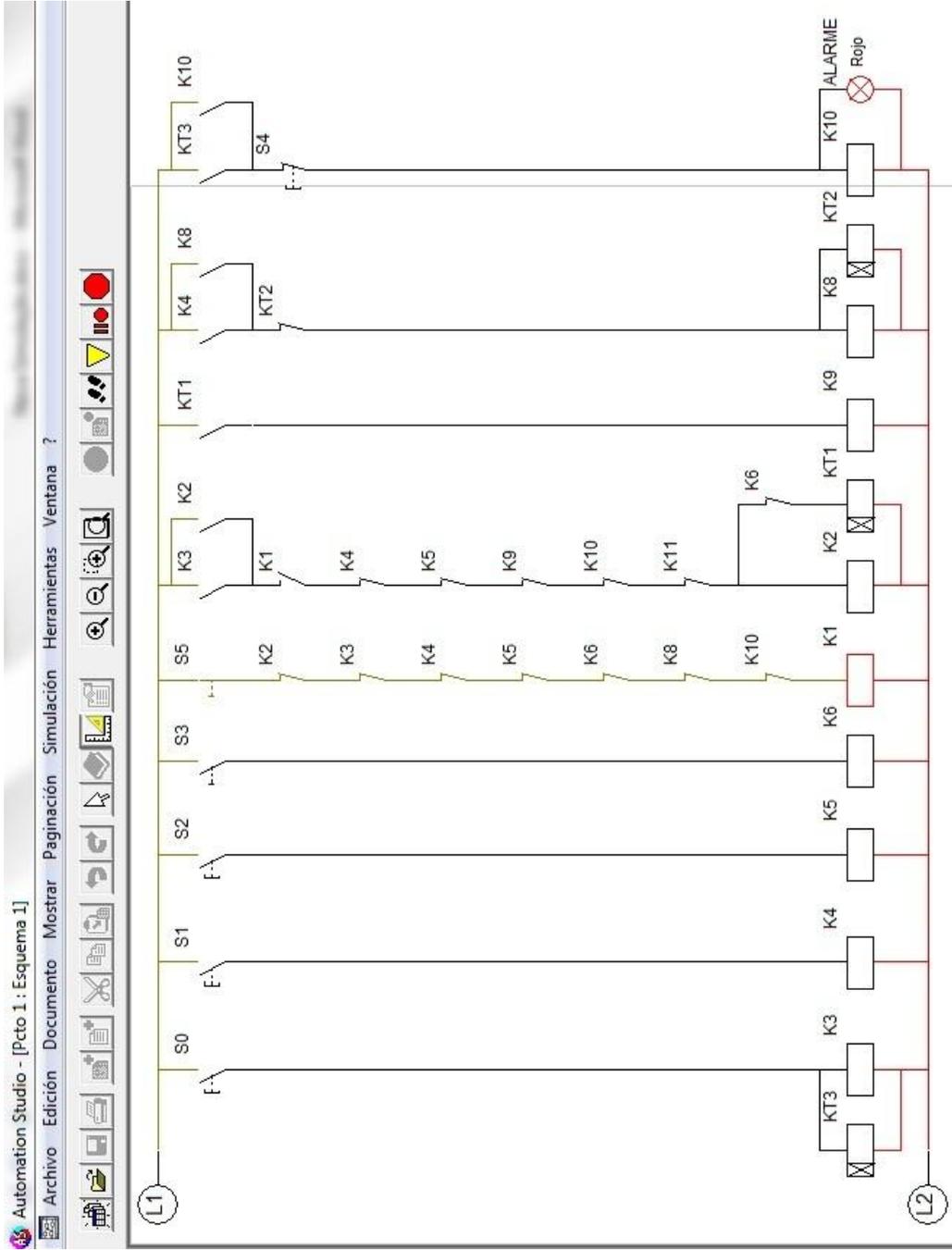


Figura 59 - Após o tempo de segurança expirar (KT3) a alimentação do motor-bomba pelas duas fontes de energia é desligada (K1 e K2) e um alarme é acionado, para desligar o alarme e permitir o acionamento do motor-bomba novamente basta pressionar uma chave (S4)  
 Fonte: Autoria Própria.



**Figura 60**–Com tensão suficiente na fonte DC (S5) o acionamento é feito pelo inversor (K1)

Fonte: Autoria Própria.

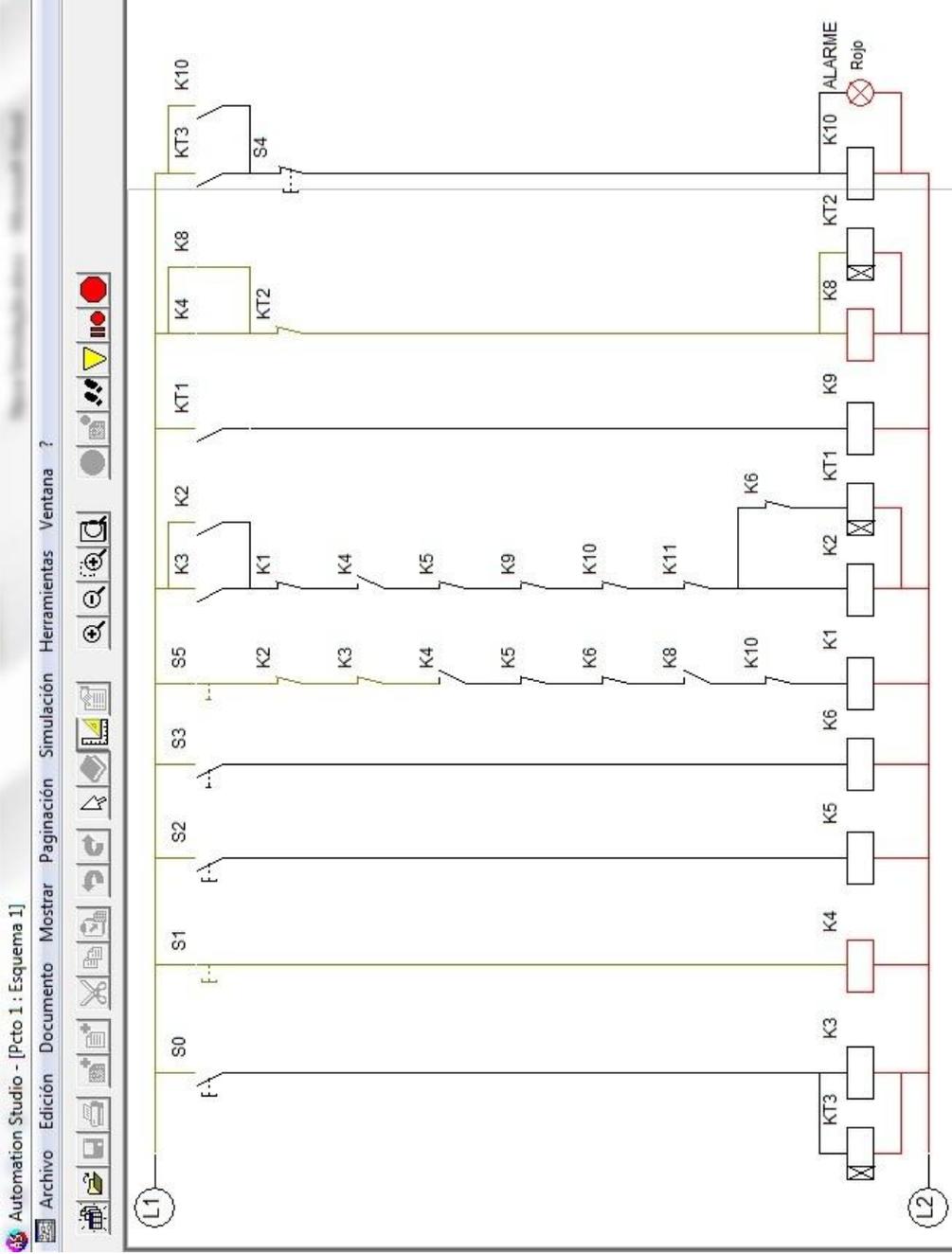


Figura 61 - Quando o máximo do reservatório superior é atingido (S1) a alimentação pelas duas fontes de energia é desligada (K1 e K2) e o temporizador para acionar o inversor novamente é acionado (KT2) desligando a alimentação pelo inversor (K1)

Fonte: Autoria Própria.



## 4.3 EXPERIMENTO

### 4.3.1 Esquema elétrico

A partir dos estudos realizados e após alguns testes e simulações, chegou-se ao esquema elétrico para o sistema do experimento. A Figura 63 representa o esquema elétrico de comando, enquanto a Figura 64 representa o esquema elétrico de força.

Neste esquema, alguns pulsadores simulam os sensores presentes no sistema de recalque e alimentação do grupo motor-bomba, são eles:

- S0: nível mínimo do reservatório superior:  
Aberto: nível de água maior que o mínimo;  
Fechado: nível de água chegou ao mínimo.
  - S1: nível máximo do reservatório superior:  
Aberto: nível de água menor que o máximo;  
Fechado: nível de água chegou ao máximo.
  - S2: nível mínimo do reservatório superior:  
Aberto: nível de água maior que o mínimo;  
Fechado: nível de água chegou ao mínimo.
  - S3: comutadora com chave para desligar a alimentação do motor-bomba pelo sistema regenerativo para que possam ser realizadas manutenções neste sistema;
  - S4 e K7: nível de tensão da fonte DC (simula o Sensor de Tensão representado no projeto):  
Aberto: nível insuficiente de tensão;  
Fechado: nível suficiente de tensão.
- Os temporizadores mostrados:
- KT1: tempo de segurança que o reservatório superior pode operar com o nível mínimo de água ou abaixo dele;
  - KT2: tempo em que o grupo motor-bomba será acionado pela rede AC enquanto o sistema regenerativo estiver ligado pela comutadora S3.

As bobinas simuladas são as seguintes:

- K1: contatora de força que aciona o motor-bomba pelo inversor, possui dois contatos auxiliares, um faz o intertravamento com o acionamento pela rede AC e o outro liga o inversor à fonte DC;
- K2: contatora de força que aciona o motor-bomba pela rede AC, possui dois contatos auxiliares para fazer o intertravamento com o acionamento pelo inversor e para fazer o contato de selo mantendo a própria bobina energizada;
- K3: bobina energizada pelo sensor de mínimo do reservatório inferior e pelo sensor de máximo do reservatório superior, possui dois contatos auxiliares que desligam o acionamento do motor-bomba pelo inversor e pela rede AC;
- K4: bobina energizada pelo temporizador de segurança que o reservatório superior pode operar com o nível mínimo de água ou abaixo dele, possui dois contatos auxiliares, um desliga o inversor e o outro liga a rede AC;
- K5: bobina energizada pelo temporizador em que o grupo motor-bomba será acionado pela rede AC enquanto o sistema regenerativo estiver ligado pela comutadora S3, possui um contato auxiliar que desliga o acionamento pela rede AC;
- K6: bobina energizada quando o sistema regenerativo é desligado pela comutadora com chave, possui dois contatos auxiliares, um desliga o acionamento do motor-bomba pelo inversor e o outro desliga o temporizador para o motor-bomba ser acionado pela rede AC.

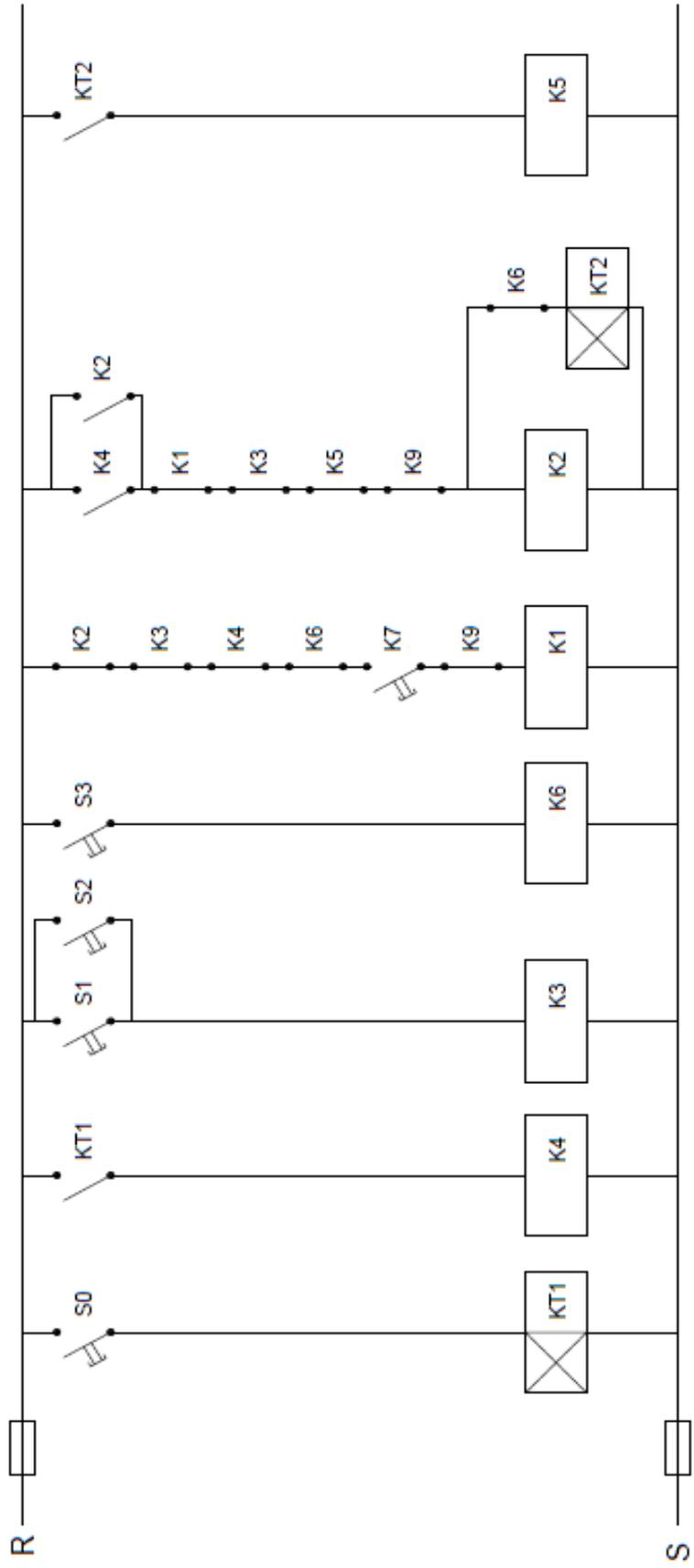


Figura 63 - Esquema elétrico de comando do Experimento  
Fonte: Autoria Própria.

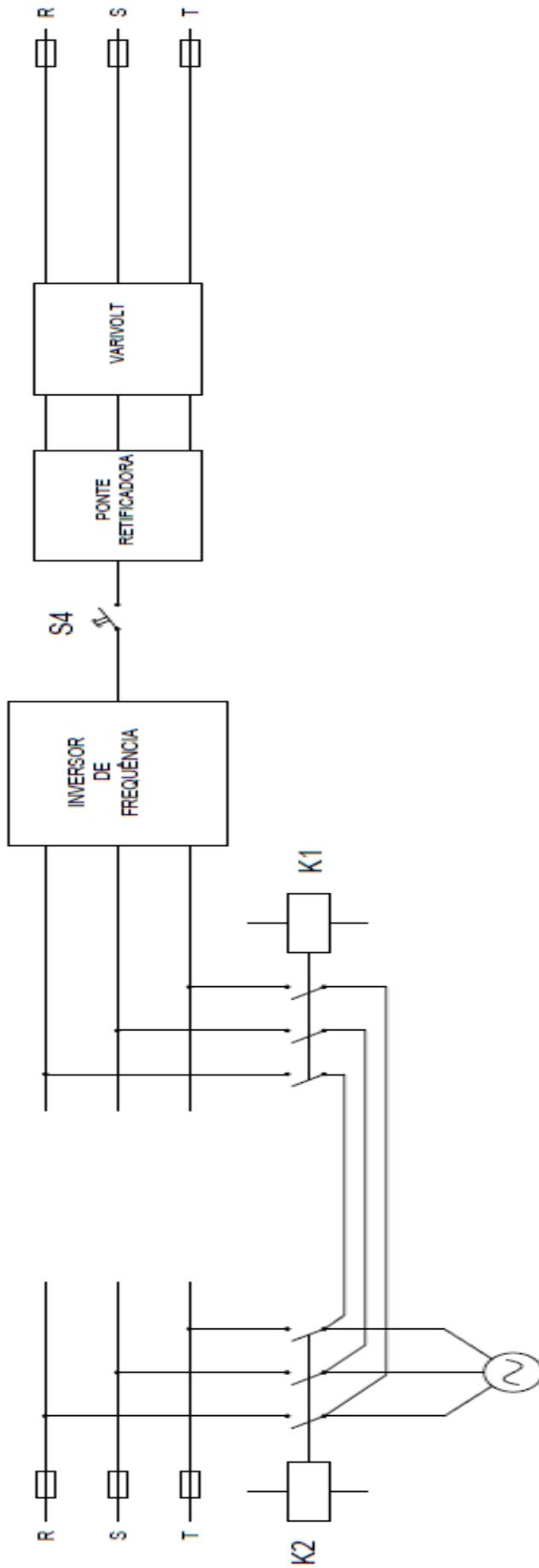


Figura 64 - Esquema elétrico de força do Experimento  
 Fonte: Autoria Própria.

#### 4.3.2 Equipamentos e materiais

De acordo com o esquema elétrico já representado, levantou-se então a lista de equipamentos e materiais necessários para a confecção do experimento, que consiste em:

- 1 motor de 1cv, para representar a bomba de recalque. Será utilizado um motor de indução trifásico da WEG, modelo W21 de Alto Rendimento com 6 pólos, potência de 0,75kW (1cv) e 1150rpm de rotação nominal, tensão de operação em 220V;
- 1 motor de 1,5cv, para representar o motor de acionamento da bomba de recalque. Será utilizado um motor de indução trifásico da WEG, modelo W21 de Alto Rendimento com 4 pólos, potência de 1,1kW (1,5cv) e 1715rpm de rotação nominal, tensão de operação em 220V;
- 1 inversor WEG, modelo CFW-08, para fazer o controle do motor de acionamento da bomba. Este inversor tem potência de até 1,5kW (2CV) com saída para frenagem reostática, tensão de operação em 220V;
- 1 acoplamento do tipo AE67, usinados na UTFPR pelo DAMEC, para acoplar os dois motores;
- 6 contadores, com 4 contatos auxiliares, sendo 2 NF e 2 NA, para a confecção do circuito de lógica, tensão de operação em 220V;
- 4 botoeiras de acionamento, tensão de operação em 220V;
- 1 comutador com chave para possibilitar a manutenção do sistema regenerativo, tensão de operação em 220V;
- 2 temporizadores, tensão de operação em 220V
- 1 varivolt de 380V ligado a 1 ponte retificadora, para realizar a simulação do banco de capacitores.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a realização das simulações através de softwares, foi realizada a montagem do experimento. O intuito desta etapa foi o de obter resultados práticos que pudessem comprovar as conclusões obtidas nas simulações realizadas por meio de software e, conseqüentemente, constatar a eficácia da proposta de utilização da energia armazenada proveniente da frenagem regenerativa de elevadores.

Visando realizar o experimento de maneira econômica, reduziu-se o circuito apenas às partes essenciais, de modo a verificar a eficácia do mesmo. Assim, algumas adaptações foram necessárias. Primeiramente, a energia utilizada para acionar o sistema, que viria da parte regenerativa, ou seja, de um banco de capacitores, foi obtida através de um varivolt ligado a uma ponte retificadora. Além disso, na fase inicial do experimento o sensor de tensão proposto no APÊNDICE C foi substituído por uma botoeira.

A Figura 65 ilustra o experimento montado.



**Figura 65 - Experimento do sistema de aproveitamento de energia**

**Fonte: Autoria Própria.**

O resultado da montagem do experimento foi satisfatório, pois foi possível verificar que o sistema de acionamento do grupo motor-bomba funciona

corretamente conforme o projeto e de acordo com as simulações que foram realizadas. As situações típicas do sistema foram testadas e o experimento comportou-se de acordo com o esperado.

## 5 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho de conclusão de curso exigiu da equipe uma grande quantidade de pesquisas e levantamentos de dados técnicos, que pudessem embasar a solução proposta para a utilização da energia armazenada em bancos de capacitores através de frenagem regenerativa de elevadores. O tema da frenagem regenerativa não possui significativa divulgação e aplicação, e este foi um dos motivos que incentivou a equipe a buscar soluções para a utilização desta energia.

Para facilitar a compreensão do assunto, foram realizadas visitas em edifícios residenciais, acompanhadas por funcionários da empresa ThyssenKrupp, que mostraram-se prestativos e dispostos a informar e esclarecer dúvidas sobre o sistema de elevadores.

A partir dos dados obtidos foi possível confeccionar um sistema integrando lógica, comando e força, de modo a garantir o abastecimento da caixa d'água, mesmo quando a energia regenerativa, proveniente de elevadores, for insuficiente para atender a demanda do processo de recalque. Além disso, foi confeccionado um experimento, com o objetivo de comprovar o funcionamento do sistema criado.

Com a avaliação dos dados levantados na visita a um edifício em conjunto com o funcionário da empresa de elevadores, foi possível realizar um cálculo hipotético, que mostrou que a energia proveniente do sistema regenerativo seria capaz de suprir o valor da energia necessária para o acionamento do grupo motor-bomba de recalque de um edifício residencial pode chegar a aproximadamente 50%.

No entanto, é importante frisar que, devem-se buscar constantemente melhorias nos sistemas e projetos elétricos, para que seja possível aumentar a viabilidade técnica e econômica destes, contribuindo, então, para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado.

Sendo assim, a equipe alcançou os seus objetivos pré-estabelecidos para este trabalho de conclusão de curso. Algumas sugestões para serem implementadas em outros trabalhos e que possam utilizar o experimento a fim de desenvolver a tecnologia utilizada na frenagem regenerativa, devem inicialmente passar pelo estudo e levantamento do potencial energético passível de obtenção na frenagem regenerativa de elevadores em edifícios. A partir dessas informações: estudar sistemas de armazenamento de energia que sejam economicamente viáveis, incluindo o uso de supercapacitores; estudar o aproveitamento e a viabilidade

econômica do uso direto da energia gerada nas frenagens regenerativas; obter maior eficiência na carga dos capacitores; pesquisar motores que ao operarem como geradores apresentem melhor rendimento; estudar a viabilidade do controle do sistema de utilização da energia regenerativa através de um controlador lógico programável (CLP).

## 6 REFERÊNCIAS

AECweb, **Arquitetura, Engenharia e Construção**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/aec-news/materia/2018/rochavera-corporate-towers-recebe-leed-gold.html>> Acesso em: 08 out. 2010.

ALQUÉRES, José Luiz. **Energia para gerações**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <[http://www.shell.com/home/content/bra/aboutshell/media\\_centre/annual\\_reports\\_and\\_publications/book\\_energy/](http://www.shell.com/home/content/bra/aboutshell/media_centre/annual_reports_and_publications/book_energy/)> Acesso em: 02 out. 2010.

**Associação Brasileira do Veículo Elétrico**. Rio de Janeiro: Disponível em: <<http://www.abve.org.br>> Acesso em: 25 set. 2010.

BUCUSSI, Alessandro A. **INTRODUÇÃO AO CONCEITO DE ENERGIA**, Rio Grande do Sul, 2006: Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/>> Acesso em: 17 abr. 2011.

CAPELLI, Alexandre. **Revista Saber Eletrônica**. Ano 35 nº 327, Abril 2000.

CAPELLI, Alexandre. **Revista Saber Eletrônica**. Ano 35 nº 328, Maio 2000.

CASTELLI, Aldo. **Energia para gerações**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <[http://www.shell.com/home/content/bra/aboutshell/media\\_centre/annual\\_reports\\_and\\_publications/book\\_energy/](http://www.shell.com/home/content/bra/aboutshell/media_centre/annual_reports_and_publications/book_energy/)> Acesso em: 25 abr. 2011.

CREDER, Hélio. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 5ª Edição, Rio de Janeiro, Editora LTC, 1991.

DUTRA, João Batista de A. **Manual de Eficiência Energética para o motor Elétrico de Indução Trifásico**. Disponível em: <<http://www.webeficienciaenergetica.kit.net/motor.htm>> Acesso em: 18 mai. 2011.

FIGINI, Gianfranco. **Eletrônica industrial: circuitos e aplicações**. São Paulo, Hemus, 1982.

FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações**. São Paulo, Érica, 2009.

**Guia de aplicação de inversores de frequência**, Santa Catarina, 2005: Disponível em: <<http://pt.scribd.com/>> Acesso em: 17 abr. 2011.

KSB. **Bomba Centrífuga Normalizada para Uso Geral**. Março 2003.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**, 2ª. Edição, 1997. Cap. 16 – Bombas Alternativas.

MONACHESI, Marcelo Gaio. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

REIS, Lineu Belico dos, 1946-. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. São Paulo, Ed Manoele, 2003.

ROCHA, Leonardo Resende Rivetti. **Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

SANTOS, Aliandro Henrique Costa. **Uma Contribuição ao Estudo dos Freios de Atrito para Aplicação em Frenagem Regenerativa**, Campinas, 2009: Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/>> Acesso em: 17 abr. 2011.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Geração de Energia Elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2005.

WEG. **Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM**, Santa Catarina, 2010: Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Geral/Central-de-Downloads>> Acesso em: 10 mar. 2011.

WEG.**CFW-09 - Inversores de Frequência**, Santa Catarina, 2008: Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos>> Acesso em: 16 mai. 2011.

## APÊNDICE A - VISITA AO EDIFÍCIO – THYSSENKRUPP

A seguir são descritos alguns dados sobre a visita ao edifício realizada no dia 21 de Setembro, acompanhada pela ThyssenKrupp.

A potência do motor do elevador é de 15kW, a tensão de operação é de 220V e a frequência é 60Hz. Segundo o Sr. Aparecido, a frenagem do elevador é realizada através de injeção de corrente CC no motor de baixa potência, criando um campo eletromagnético, responsável pela frenagem do rotor. O poço existente do elevador é de 87m e a velocidade do sistema é de 105m/min com 10% de tolerância, caso a velocidade atinja 12% a mais que a nominal é acionado o sistema de segurança do elevador.

Ainda segundo informado pelo funcionário da ThyssenKrupp, o consumo de potência dos elevadores varia bastante de acordo com o condomínio.

Nos elevadores novos, que utilizam sistemas com inversores, é possível colocar uma célula de carga na cabina, que realiza o controle do peso da mesma, e o controle da deformação do material, tornando possível o controle da quantidade de energia que deverá ser injetada no motor.

A cabina funciona como se fosse um pêndulo, sendo que, além da cabina, existe o contrapeso. Este é considerado como o valor da cabina somado à metade da capacidade da mesma. Um exemplo prático do edifício visitado, a cabina pesa aproximadamente 1680kg, e a capacidade do elevador é de 840kg (estimado em 12 pessoas). Sendo assim, o contrapeso seria de 2100kg.

## APÊNDICE B - TABELA DE CÁLCULO DE ALTURA MANOMÉTRICA E VAZÃO PARA O EDIFÍCIO VISITADO NA RUA GUTEMBERG

Segue abaixo a tabela com os dados da bomba de recalque utilizada no prédio da Rua Gutemberg. A bomba é do fabricante Schneider, modelo ME 2340.

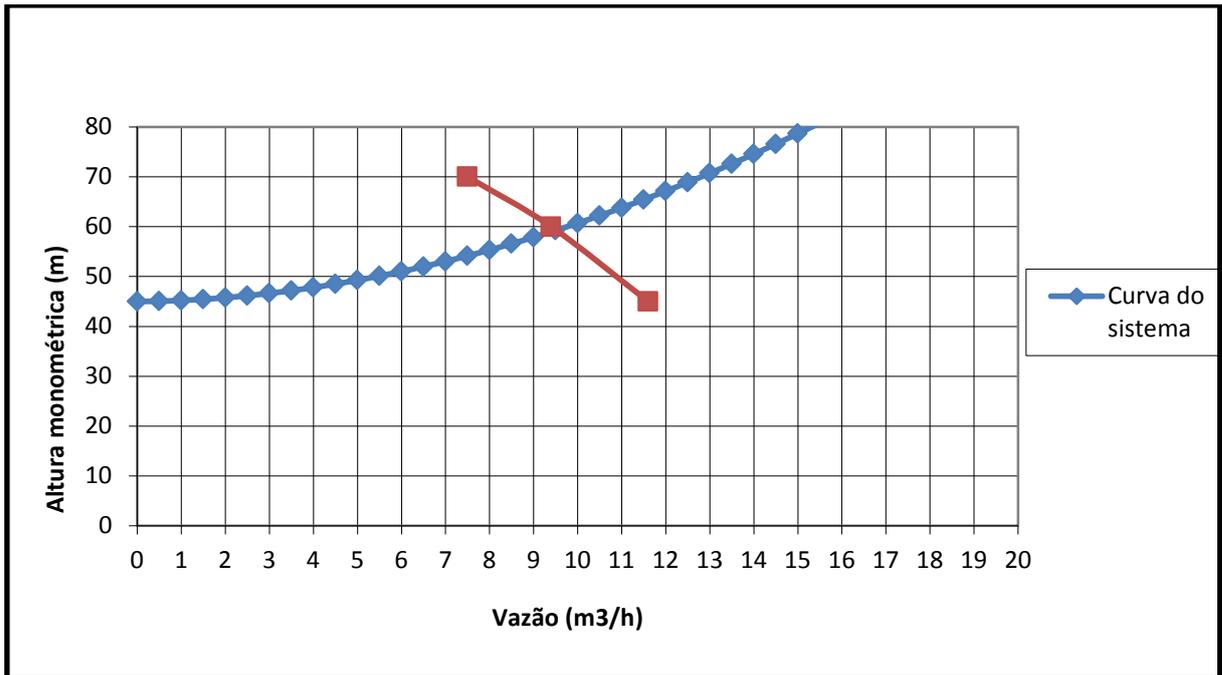
<b>Bomba Schneider ME-2340</b>	
<b>H (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>
45	11,6
60	9,4
70	7,5

A partir desses dados, foram estimados alguns dados, para o cálculo da altura manométrica e vazão da bomba de recalque do edifício. Seguem as tabelas e gráfico utilizados para o cálculo estimativo.

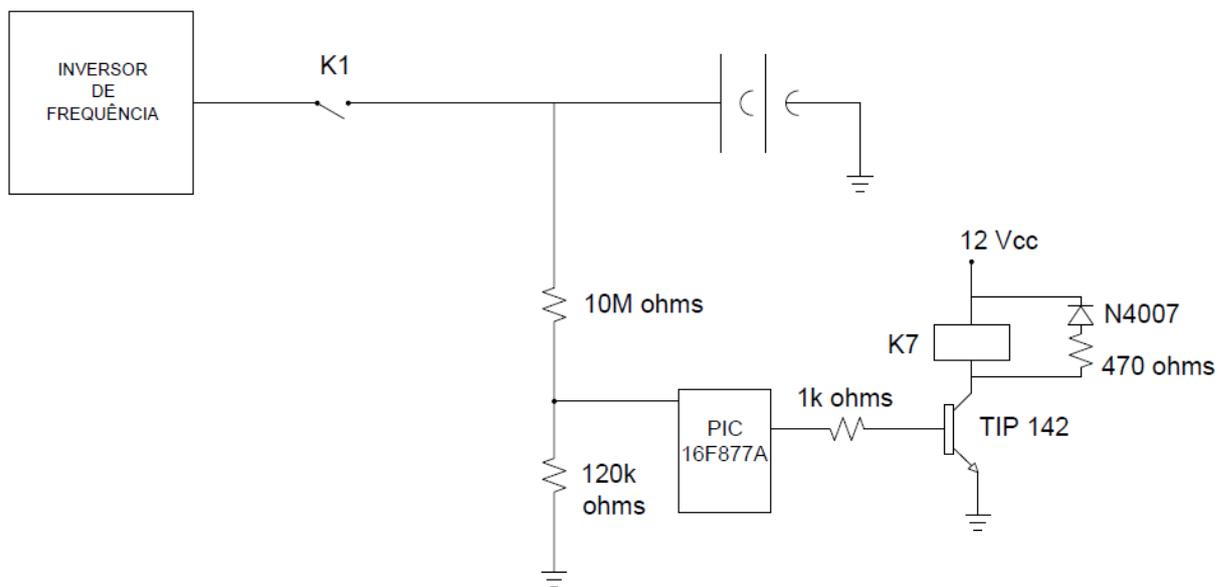
<b>Nível de descarga (altura estática) (m)</b>	45
<b>Diâmetro interno tubo aço carbono (mm)</b>	40
<b>Coefficiente de atrito aço carbono</b>	130
<b>Coefficiente de atrito ferro fundido</b>	130

<b>Perdas de carga - equivalente em metros de tubulação</b>				
<b>Componentes</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Qtde</b>	<b>Comprimento eq. (m)</b>	<b>Total (m)</b>
Curva 45	1.1/2"	4	0,6	2,4
Curva 90	1.1/2"	5	0,9	4,5
Válvula gaveta	1.1/2"	2	0,3	0,6
Crivo	1.1/2"	1	11,6	11,6
Válvula retenção	1.1/2"	1	4,8	4,8
Saída	1.1/2"	1	1	1
Tubulação	1.1/2"	50	1	50
			<b>Total (m)</b>	<b>74,9</b>

Vazão (m3/h)	Vazão (l/s)	Perda de carga (aço carbono) (m)	Altura manométrica (mca)	Curva sistema - máximo
0,000	0,000	0,000	45,000	45,000
0,500	0,139	0,056	45,056	45,056
1,000	0,278	0,207	45,207	45,207
1,500	0,417	0,444	45,444	45,444
2,000	0,556	0,762	45,762	45,762
2,500	0,694	1,159	46,159	46,159
3,000	0,833	1,633	46,633	46,633
3,500	0,972	2,182	47,182	47,182
4,000	1,111	2,804	47,804	47,804
4,500	1,250	3,499	48,499	48,499
5,000	1,389	4,266	49,266	49,266
5,500	1,528	5,103	50,103	50,103
6,000	1,667	6,010	51,010	51,010
6,500	1,806	6,986	51,986	51,986
7,000	1,944	8,030	53,030	53,030
7,500	2,083	9,142	54,142	54,142
8,000	2,222	10,321	55,321	55,321
8,500	2,361	11,567	56,567	56,567
9,000	2,500	12,880	57,880	57,880
9,500	2,639	14,258	59,258	59,258
10,000	2,778	15,701	60,701	60,701
10,500	2,917	17,209	62,209	62,209
11,000	3,056	18,782	63,782	63,782
11,500	3,194	20,419	65,419	65,419
12,000	3,333	22,120	67,120	67,120
12,500	3,472	23,885	68,885	68,885
13,000	3,611	25,713	70,713	70,713
13,500	3,750	27,603	72,603	72,603
14,000	3,889	29,556	74,556	74,556
14,500	4,028	31,572	76,572	76,572
15,000	4,167	33,650	78,650	78,650
15,500	4,306	35,789	80,789	80,789
16,000	4,444	37,991	82,991	82,991
16,500	4,583	40,253	85,253	85,253
17,000	4,722	42,577	87,577	87,577
17,500	4,861	44,962	89,962	89,962
18,000	5,000	47,407	92,407	92,407
18,500	5,139	49,913	94,913	94,913
19,000	5,278	52,479	97,479	97,479
19,500	5,417	55,106	100,106	100,106
20,000	5,556	57,792	102,792	102,792



## APÊNDICE C - PROPOSTA DE SENSOR DE TENSÃO – PIC



O circuito da figura acima representa uma proposta de sensor de tensão utilizado para o comando do acionamento do grupo motor-bomba. O circuito não foi implementado no experimento, pois faltaram recursos e tempo para implementar esta etapa.

Basicamente, este circuito é composto por dois resistores formando um divisor de tensão de alta impedância, que evita o descarregamento do banco de capacitores, um microcontrolador PIC 16F877A, um transistor TIP 142 na saída do PIC que, juntamente com uma fonte DC, alimenta um relé que possui um contato normalmente aberto, que, ao ser ativado, permite o acionamento do grupo motor-bomba pelo inversor. Em paralelo a este relé estão um resistor e um diodo para descarregar a bobina do relé quando a tensão for insuficiente.

A programação do PIC foi realizada utilizando o seu conversor analógico digital, quando a tensão na entrada do PIC for igual a tensão proporcional à tensão do banco de capacitores programada para ativar o inversor, o PIC deve ativar a saída ligada ao transistor. Quando essa tensão da entrada for inferior a tensão proporcional ao mínimo suportado pelo inversor o PIC deve desligar a saída ligada ao transistor.

Para fazer a programação do PIC foi utilizado o software PCWHD Compiler da CCS (Custom Computer Services, Inc.). Nos apêndices D e E estão apresentadas, respectivamente, as linhas de programação e a simulação do circuito no Proteus (ISIS 7 Professional).

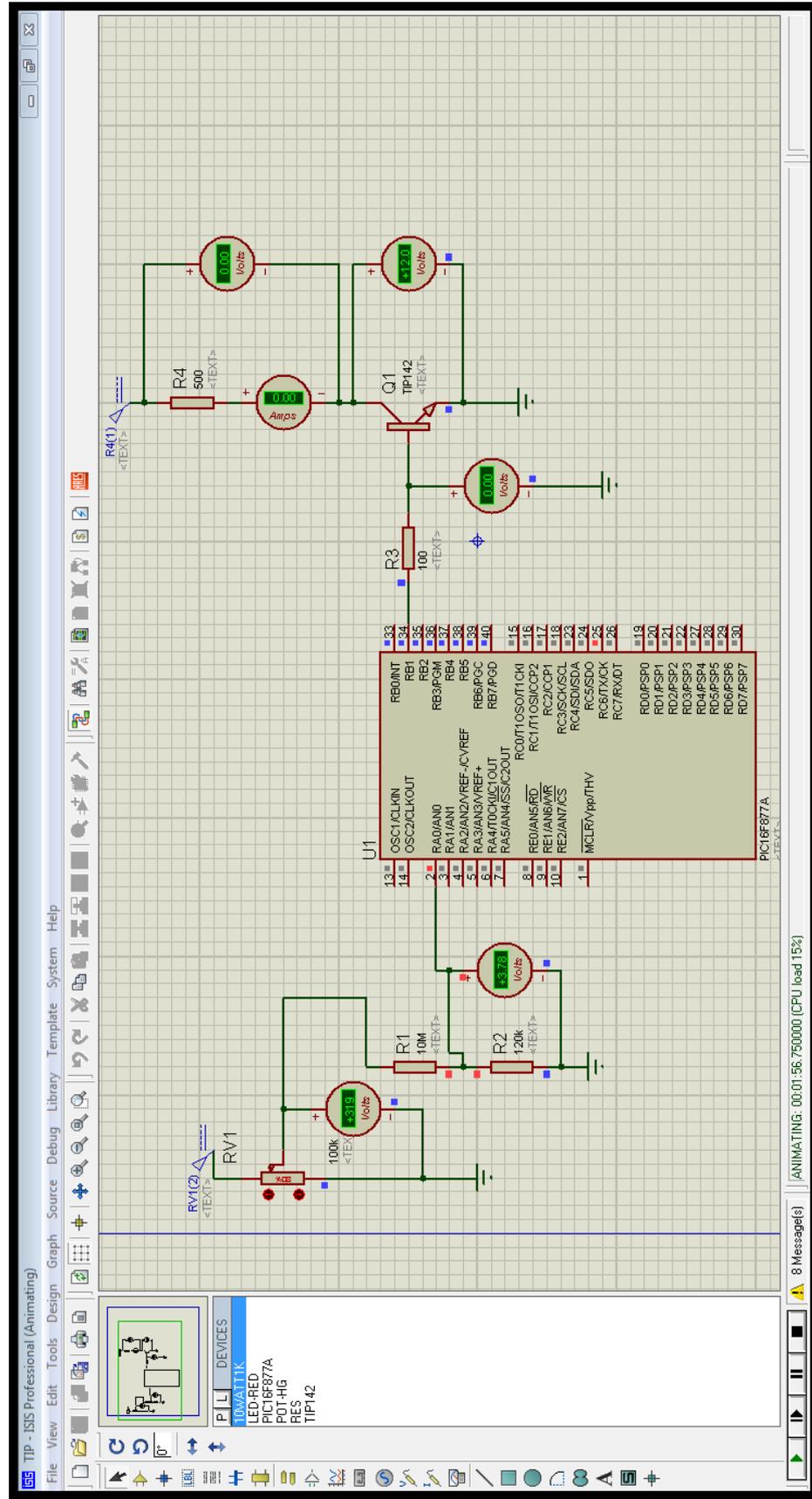
## APÊNDICE D - CÓDIGO FONTE PROPOSTO PARA O SENSOR DE TENSÃO – PIC

```
#include <16f877a.H>
#device adc=10
#fuses XT, NOWDT, NOPROTECT, BROWNOUT, PUT, NOLVP
#use delay(clock = 4000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_c6,rcv=PIN_c7,bits=8)

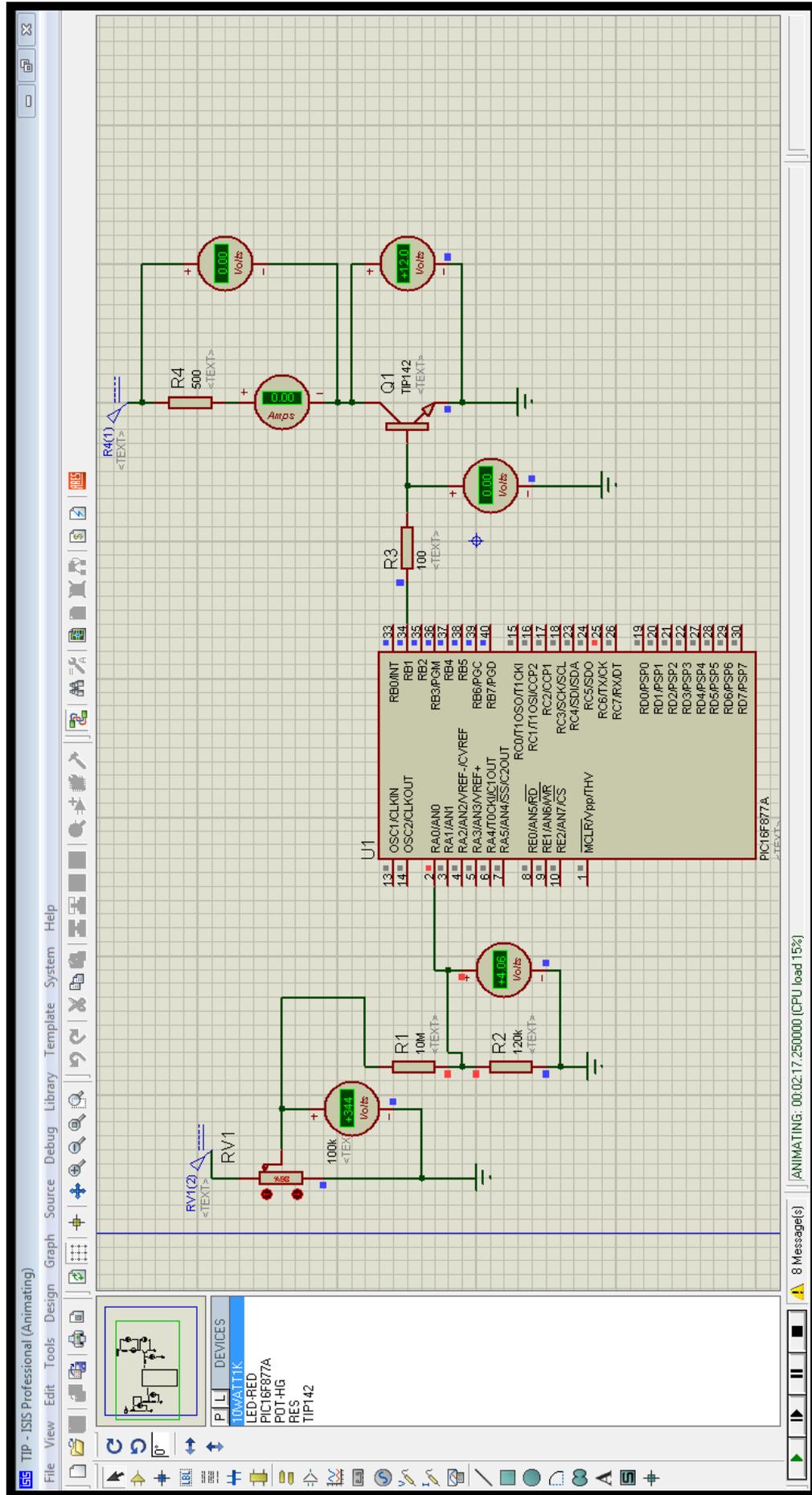
main()
{
int32 valor;
set_tris_a(0b11111111);
set_tris_B(0b00000000);
setup_adc_ports(AN0);
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
output_b(0b00000000);
while(1)
{
valor = read_adc();
if (valor>967)
{
while(valor>799)
{
valor = read_adc();
output_high(pin_b1);
}
output_low(pin_b1);
}
else
{
output_low(pin_b1);
}
}
}
```

## APÊNDICE E - SIMULAÇÃO DO SENSOR DE TENSÃO PROPOSTO

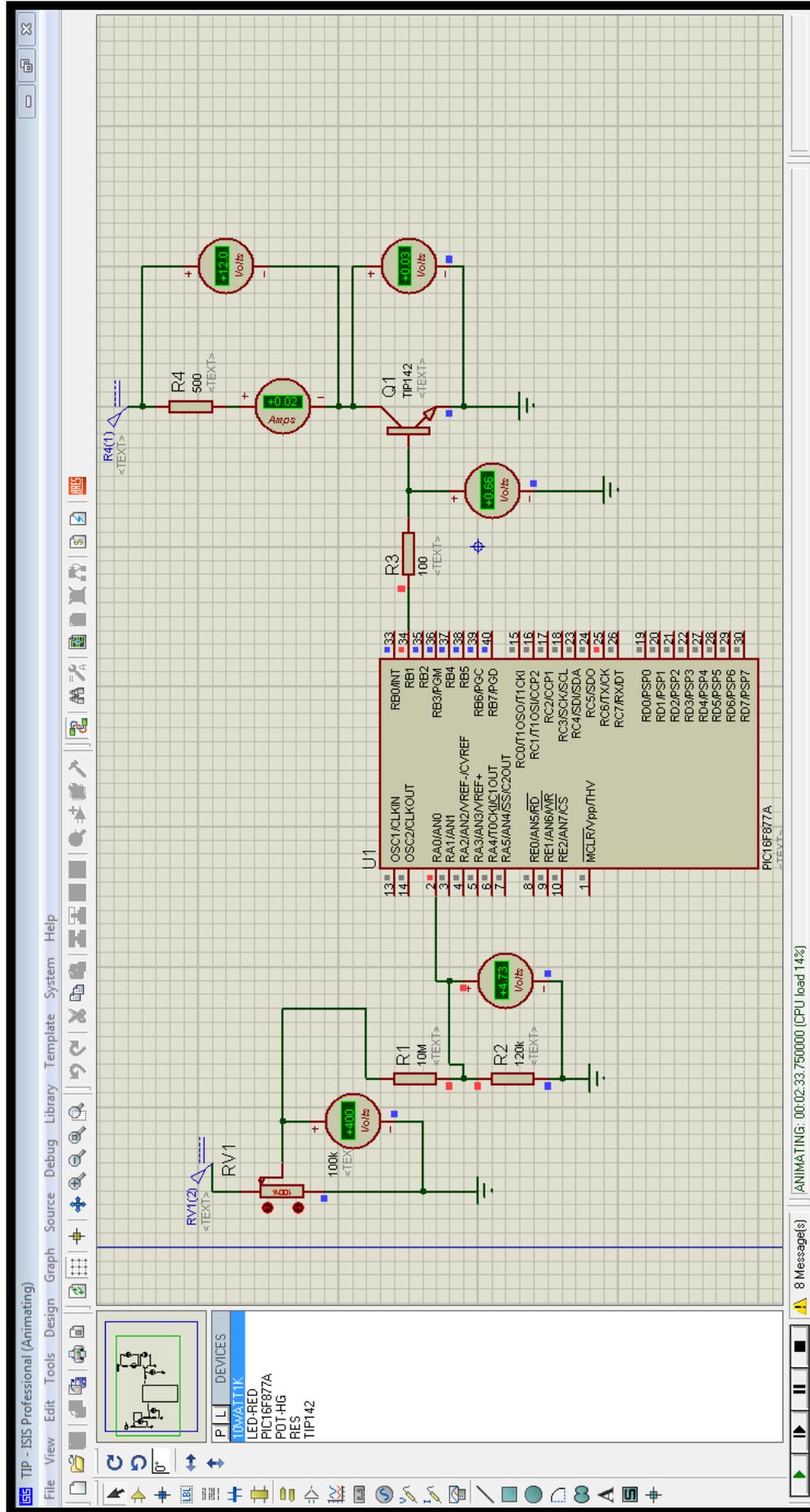
a) A tensão no banco é inferior a 330 Vcc, a saída do PIC está desligada



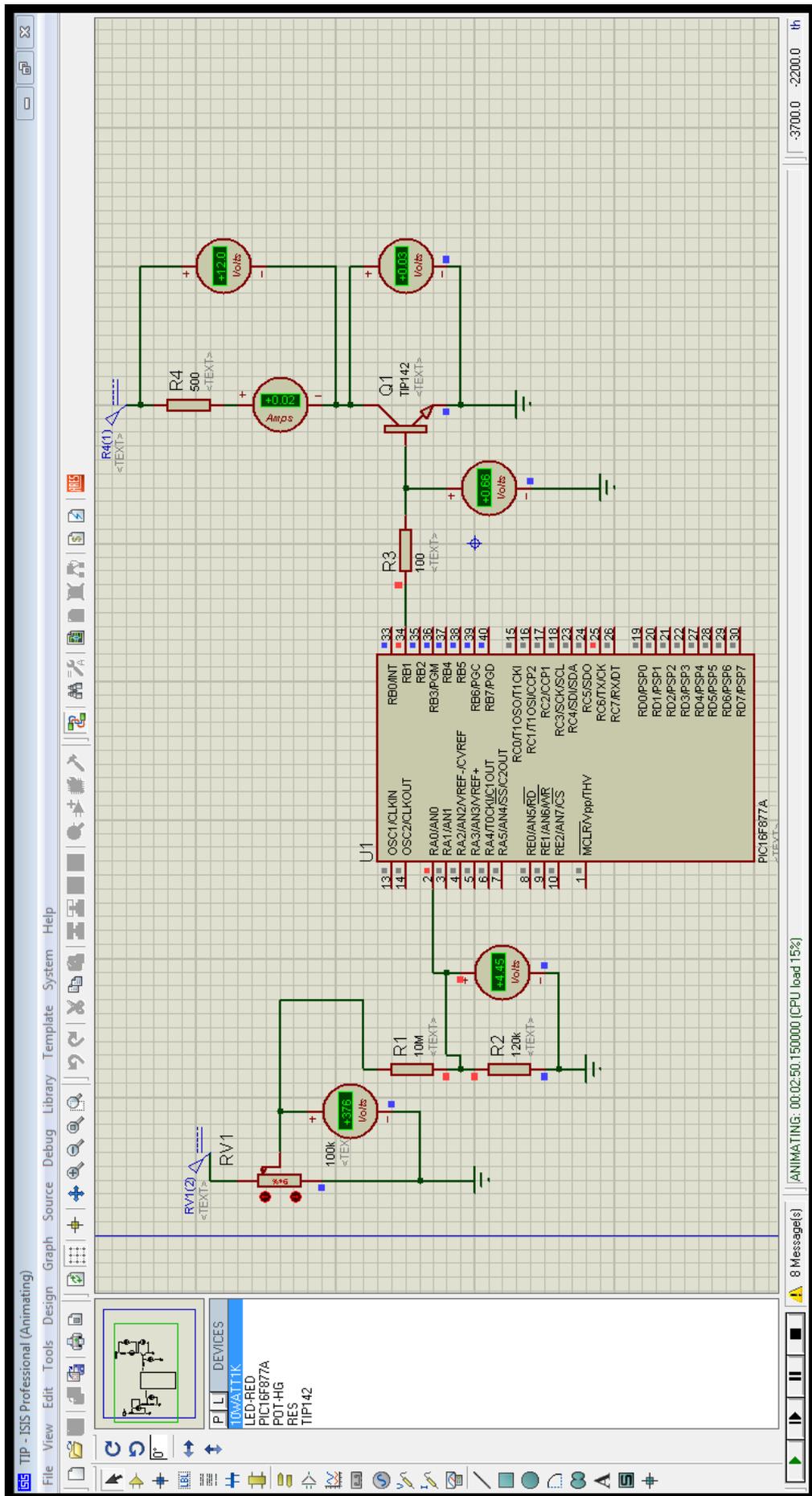
b) A tensão no banco passa de 330 Vcc, mas a saída do PIC continua desligada



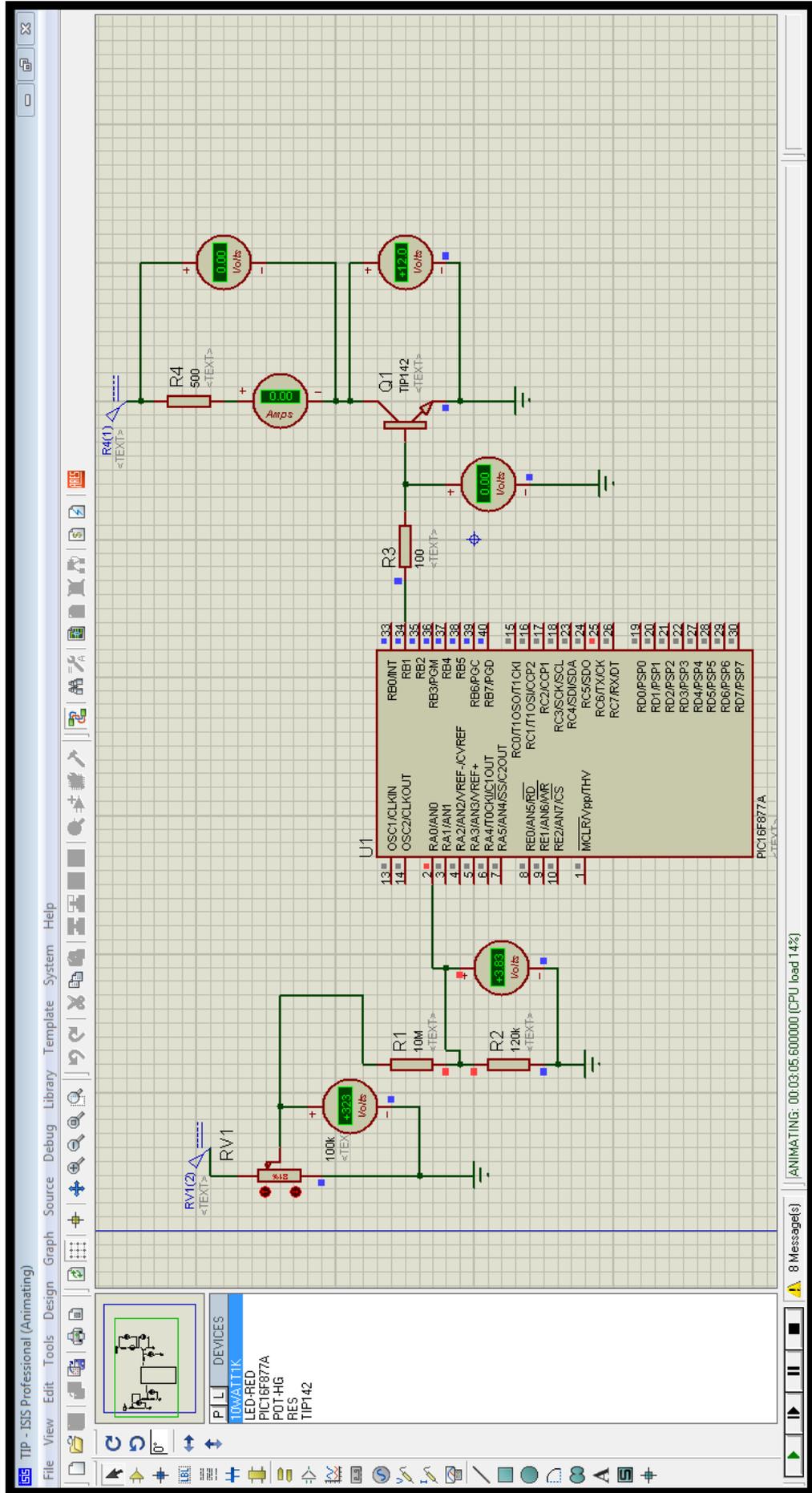
c) Ao atingir 400 Vcc a saída do PIC é acionada



d) Enquanto a tensão no banco se mantém entre 400 e 330 Vcc a saída do PIC continua acionada



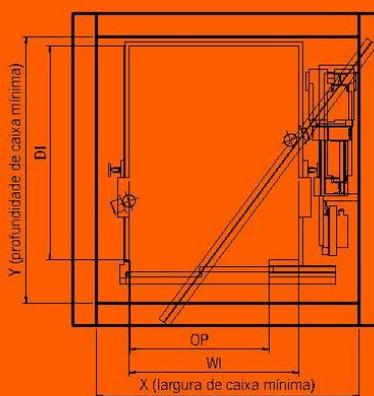
e) Quando a tensão passa a ser inferior a 330 Vcc a saída do PIC é desligada



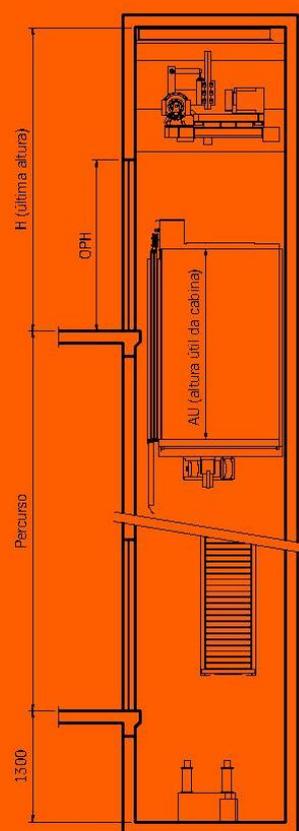
## ANEXO A - CATÁLOGO ELEVADOR SINERGY – THYSSENKRUPP

# Dimensionamento

CORTE SUPERIOR					CORTE LATERAL					
Capacidade passageiros	Abertura	Dim. de Cabina			X	Y	H	AU	OPH	Velocidade (m/min)
		WI	DI	OP						
8	AL	1100	1400	800	1700	1740	3650	2100	2000	60
		1100	1400	900			3750	2200	2000	
		1100	1400	800			3650	2100	2000	
		1100	1400	900			3750	2200	2130	
	AC	1250	1200	800	1850	1610	3650	2100	2000	
	AL				1900	1530	3750	2200	2000	
	AL				1850	1610				
	AC				1900	1530				



CORTE SUPERIOR



CORTE LATERAL

### CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS - (50/60 HZ) - VVVF

Capacidade passageiros	Velocidade (m/min)	Percurso (m)	Motor (kw)	Força (Volts)	Fiação de força/terra e distancia entre subestação e casa de máquinas			Prot. na subest. para elevadores	Prot. na casa de máq. p/ elevador	Potência disponível p/ elevador
					Fase (3)	Terra (1)	Fase (3)	Terra (1)	Fusível/disjuntor	
8	60	Até 45	3,8	380	Até 30 m Fase (3) 4 mm <sup>2</sup> Terra (1) 4 mm <sup>2</sup>	Até 50 m Fase (3) 4 mm <sup>2</sup> Terra (1) 4 mm <sup>2</sup>	Até 100 m Fase (3) 6 mm <sup>2</sup> Terra (1) 6 mm <sup>2</sup>	16 A	16 A	11,6 KVA

