

**UNESP**  
**Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá**

**Guaratinguetá**  
**2015**

Rodrigo dos Santos Silva

## **Análise de viabilidade de implementação de um Centro Inteligente de Controle de Motores**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

Guaratinguetá

2015

S586  
a Silva, Rodrigo dos Santos  
Análise de viabilidade de implementação de um centro inteligente de  
motores / Rodrigo dos Santos Silva – Guaratinguetá, 2015.  
65 f : il.

Bibliografia: f. 52

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

1. Energia elétrica -- Consumo
2. Sistemas inteligentes de controle
3. Motores elétricos I. Título

CDU 620.92

**RODRIGO DOS SANTOS SILVA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

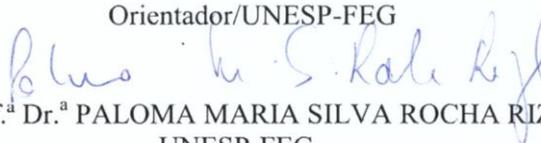
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA  
Coordenador

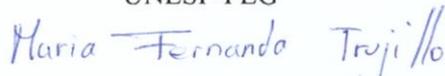
**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI  
Orientador/UNESP-FEG



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL  
UNESP-FEG



Prof.<sup>a</sup> MARIA FERNANDA TRUJILLO LEON  
UNESP-FEG

**Novembro de 2015**

## DADOS CURRICULARES

RODRIGO DOS SANTOS SILVA

NASCIMENTO	03.12.1987 – CARAPICUIBA/SP
FILIAÇÃO	Euclézio Ezequiel da Silva Josefa Maria dos Santos Silva
2006/2015	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

## DEDICATÓRIA

A minha esposa e família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais por terem me dado o apoio necessário, em todos os aspectos, para que eu pudesse atingir meu objetivo de cursar a faculdade de engenharia.

Agradeço a minha esposa Manuela por estar sempre do meu lado e ter me incentivado constantemente para que eu conseguisse conciliar a carreira, em andamento, com esta etapa que estava interrompida.

Agradeço a Siemens, por acreditar no meu potencial, me dar ótimas oportunidades de trabalho e por disponibilizar uma grande quantidade de informações para realização deste trabalho.

“Há três maneiras de agir sabiamente:  
a primeira pela meditação, que é a mais sábia  
a segunda pela imitação, que é a mais fácil  
a terceira pela experiência, que é a mais amarga”

Confúcio

**RODRIGO, S. S. Análise de viabilidade de implementação de um centro inteligente de controle de motores**, 2015. 65 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## **RESUMO**

Em toda a indústria, independentemente da atividade a qual é destinada, a distribuição de energia elétrica tem que satisfazer as atuais e sempre crescentes necessidades do mercado, visando à confiabilidade e a eficiência dos processos. A energia não só deve estar disponível para assegurar a continuidade de operação, mas também para evitar os custos incorridos devido às deficiências e falhas. A tendência de migrar para sistemas inteligentes é inegável e neste trabalho é analisada as vantagens que tornaram este tipo de tecnologia essencial, focado na análise do centro de controle de motores e como um equipamento robusto se adequou ao conceito de painéis inteligentes. O estudo de caso compara em um cenário real a aquisição de um sistema de painéis elétricos de baixa tensão comparando o custo para aquisição do mesmo conjunto de painéis fabricado com e sem o conceito de inteligência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia. Custo. Sistemas inteligentes.

**RODRIGO, S. S. Análise de viabilidade de implementação de um centro inteligente de controle de motores**, 2015. 65 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

### **ABSTRACT**

Across the industry, regardless of the activity which is intended, the electricity distribution must meet the current and ever growing needs of the market, aiming at reliability and process efficiency. The energy must not only be available to ensure continuity of operation, but also to avoid the costs incurred due to deficiencies and failures. The tendency to migrate to intelligent systems is undeniable and this thesis will be analyzed the advantages that made this kind technology essential, focused on the analysis of the motor control center and as sturdy equipment fit to the concept of intelligent panels. The case study compares in a real scenario the acquisition of a system of low-voltage electrical panels comparing the cost to purchase the same set of panels made with and without the concept of intelligence.

**KEYWORDS:** Energy. Cost. Intelligent systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Indicadores industriais.....	13
Figura 2 - Hierarquia das necessidades em painéis de baixa tensão .....	15
Figura 3 - Exemplo de um processo descentralizado de rejeição de cargas.....	20
Figura 4 - Disponibilidade operacional em função do tipo de manutenção .....	26
Figura 5 - CCM em manutenção .....	30
Figura 6 - Gaveta extraível e alavanca de extração .....	31
Figura 7 - Posições de gaveta extraível .....	31
Figura 8 - Chave de partida convencional .....	34
Figura 9 - Chave de partida com SIMOCODE PRO.....	35
Figura10 - Curvas inversores de frequência e economia de energia.....	38
Figura 11 - Produtos analisados.....	39
Figura 12 - Barramentos dos painéis .....	42
Figura 13 - Opcial ArcShield CENTERLINE 2500 .....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produtos e empresas analisadas .....	39
Quadro 2 –Característica técnicas dos concorrentes .....	48
Quadro 3 – Composição de preço do sistema inteligente.....	46
Quadro 4 – Composição de preço do sistema convencional.....	<u>48</u>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCM	Centro de Controle de Máquinas
CCMI	Centro de Controle de Máquinas Inteligentes
CDC	Centro de Distribuição de Carga
CLP	Controlador Lógico Programável
FP	Fator de Potência
PTTA	<i>Partially Type Tested Assembly</i>
THS	Tarifária Hora Sazonal
TTA	<i>Type Tested Assembly</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 NECESSIDADES ELÉTRICAS DA INDÚSTRIA .....</b>	<b>14</b>
<b>3. FUNÇÕES DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA .....</b>	<b>18</b>
3.1 GERENCIAMENTO DE FONTES –TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA .....	18
3.2 REJEIÇÃO DE CARGA.....	19
3.3 PROTEÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	20
3.4 ADMINISTRAÇÃO DO HORÁRIO DE TARIFA.....	21
3.5 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA .....	22
3.6 INFORMAÇÕES PARA TOMADA DE AÇÕES.....	24
3.7 MANUTENÇÃO .....	25
<b>4. SOLUÇÕES ATUAIS DISPONÍVEIS .....</b>	<b>28</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DO CCM.....	28
3.2 APLICAÇÕES DO CCM.....	32
4.3 CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES INTELIGENTES - CCMi .....	32
4.4 VANTAGENS DE UM SISTEMA INTELIGENTE.....	33
<b>4.4.1 Sistema de partida direta de motores convencionais .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4.2 Sistema inteligentes de partida de motores.....</b>	<b>35</b>
4.5 OUTROS MÉTODOS DE PARTIDA INTELIGENTE DE MOTORES .....	36
<b>4.5.1 Softstarter e conversores estáticos eletrônicos.....</b>	<b>37</b>
<b>4.5.2 Acionamentos estáticos .....</b>	<b>38</b>
<b>5. REPRESENTANTES DO MERCADO .....</b>	<b>40</b>
5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	41
<b>6. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>44</b>
6.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO ESCOPO EM ESTUDO.....	44
6.2 CUSTO SISTEMA CONVENCIONAL X SISTEMA INTELIGENTE.....	47
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO A – Composição dos típicos dos painéis da Innova do tipo inteligente .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO B – Composição dos típicos dos painéis da Innova do tipo convencional.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO C – Tabela de coordenação tipo 2 para partida direta coordenada com disjuntor .....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao analisar as alterações que ocorreram no setor industrial no século XX, um fator que obteve destaque é o aumento no controle das variáveis envolvidas nos processos. Para isso a utilização de equipamentos inteligentes capazes de fornecer dados que possibilitem tal controle está cada vez mais difundida no setor industrial com o intuito de aumentar a produtividade, rendimento dos processos e economia de energia.

O objetivo deste trabalho é analisar as necessidades da indústria quanto à sua instalação elétrica, estudar como a distribuição de energia, o monitoramento e o controle dos motores de baixa tensão podem ser administrados e discutir as possibilidades de aplicação dos sistemas inteligentes para os painéis de baixa tensão.

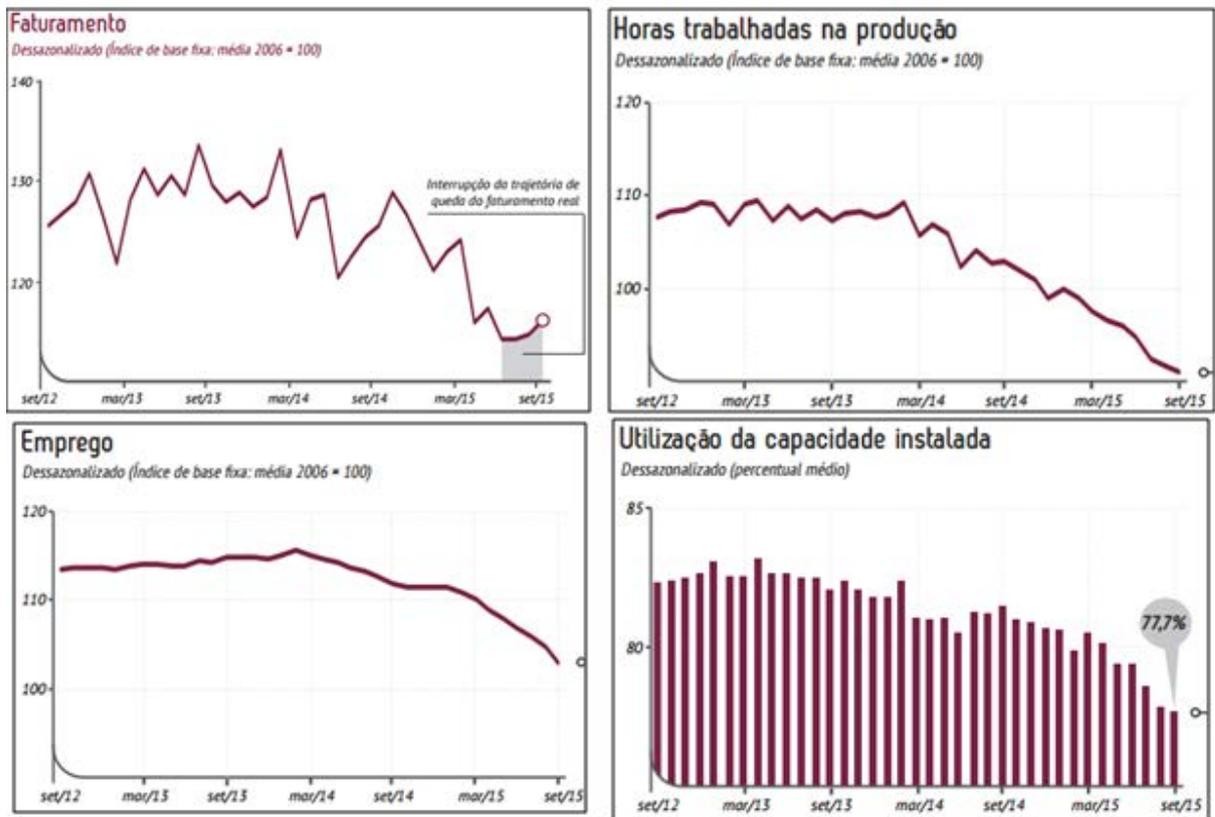
Neste trabalho são analisadas no capítulo 2 as necessidades elétricas da indústria com foco nas condições primordiais para o setor. No capítulo 3 ocorre o detalhamento das funções que são esperadas de um sistema de gerenciamento de energia para que ele seja autônomo e capaz de reagir às situações adversas que podem ocorrer numa instalação elétrica industrial.

Após apresentar de forma justificada qual a demanda do mercado é apresentado no capítulo 4 o centro de controle de motores como grande solução disponível e um comparativo com a sua versão inteligente e no capítulo 5 são apresentados os principais representantes do mercado. O estudo de caso presente no capítulo 6 analisa a viabilidade de instalação de um sistema inteligente em lugar de um sistema de controle de cargas convencional.

## 2 NECESSIDADES ELÉTRICAS DA INDÚSTRIA

A indústria brasileira vive a pior crise dos últimos anos. Índices como faturamento, horas trabalhadas na produção, emprego e utilização da capacidade instalada batem recordes negativos com o passar dos meses conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Indicadores industriais



Fonte: (Indicadores CNI ISS 1986-621X n°9)

Neste cenário a chave para a manutenção da competitividade é possuir um sistema produtivo eficiente, livre de desperdícios e com a menor taxa de falha possível.

Segundo Antonie Jammes (1997), as necessidades dos usuários e dos operadores das instalações elétricas podem ser bastante diferentes, de acordo com a proposta de planejamento e sua aplicação.

- a) Comercial;
- b) Industrial;
- c) Infraestrutural.

Uma hierarquia de necessidade pode ser estabelecida conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Hierarquia das necessidades em painéis de baixa tensão



Fonte: (adaptado Cahier Technique Schneider nº 186 / p.4)

Em um edifício comercial pequeno, por exemplo, o custo com energia elétrica e facilidade de operação do sistema por pessoas sem uma grande qualificação técnica são os critérios para definir as necessidades do sistema energético. Por outro lado, no setor industrial como, por exemplo, em uma fábrica em que possui uma cadeia de processos, a mais importante e prioritária das necessidades é a continuidade do serviço ou operação.

Pascal Bennefoi (1990) afirma que em indústrias competitivas é impossível tolerar perdas de produção. Tal fato torna-se ainda mais complexo quando as perdas estão atreladas a falhas no sistema que poderiam ser evitadas. Devido a isto, as empresas buscam obter as melhores condições de:

- a) Confiabilidade nos sistemas de comando e controle;
- b) Disponibilidade de máquinas;
- c) Manutenção das ferramentas de produção;
- d) Segurança de pessoal e capital investido.

Antoine Jammes (1997) afirma que uma instalação elétrica deve distribuir energia garantindo a segurança de vida e da propriedade e que um sistema de gerenciamento de energia não substitui as funções primárias (dispositivos do tipo reflexo).

A empresa Siemens (2005) afirma que certas instalações são administradas remotamente, ou de uma estação de controle e monitoramento ou de um centro de controle que monitoram vários locais (supervisão remota).

Para Siemens (2005), a centralização das funções de administração energética é um dos meios de substituir atividades humanas através do uso de sistemas computadorizados, executando automaticamente tarefas repetitivas, por exemplo, programando tempos operacionais de uma esteira de transporte de minério.

Outra consideração da empresa Siemens (2005) é o fato de que em pequenas indústrias, o responsável pela instalação elétrica é normalmente um pequeno grupo de pessoas com qualificação técnica limitada para gerenciar todo o conjunto operacional. Para assegurar o funcionamento efetivo, e por razões de segurança, as informações apresentadas a estas pessoas devem ser na forma de interface homem/painel da forma mais simples quanto possível.

Em suma cada ramo de atividade tem suas próprias exigências relativas à continuidade dos serviços em uma instalação elétrica e nas indústrias, as falhas de energia resultam em perdas de produção e grandes prejuízos.

As necessidades de assegurar a disponibilidade de energia conduziram às mais diversas escolhas tecnológicas para os equipamentos para a distribuição em instalações elétricas.

Neste contexto, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003), o trabalho de um painel de comando de baixa tensão é:

- a) Gerenciar as fontes alternativas de suprimento de energia;
- b) Ser efetivo;
- c) Tomar a ação necessária automaticamente, de forma imediata, na ocorrência de um problema.

Guy Gatine (1991) descreve que em um sistema centralizado, a necessidade de um desligamento resulta na interrupção do serviço de toda instalação, no entanto a mesma necessidade de desligamento pode ser limitada ao sistema que precisa ser desligado, permitindo que o resto da instalação continue operando.

Guy Gatine (1991) exemplifica que, se no caso de uma manutenção na unidade central do painel, as funções locais dentro do painel permanecem operando, devido à natureza descentralizada da instalação.

A necessidade de redução nos custos dos processos industriais incluindo custos com energia elétrica é uma constante preocupação de toda a indústria.

As reduções em energia elétrica podem ser alcançadas trabalhando em dois diferentes fatores.

- a) Nível de consumo;

b) Sistema de tarifas da concessionária de energia.

De acordo com Guy Gatine (1991), para esta finalidade, é necessário um conhecimento detalhado do perfil de consumo de eletricidade da companhia e para levantamento deste perfil, é necessário um sistema de medição que possa fornecer os dados necessários para uso em telas de supervisão e controle, com o objetivo de monitoramento e análise dos dados colhidos.

A empresa Siemens (2005) afirma que com o conhecimento de tais informações é possível:

- a) Agir para melhorar a situação;
- b) Conferir os efeitos das ações;
- c) Determinar os custos de energia por área de trabalho, departamentos, etc;
- d) Reduzir o consumo.

Podem existir diversas possibilidades de ações, dependendo do tipo de aplicação. A Siemens (2005) relata algumas opções.

- a) Desligar a iluminação e o ar condicionado em salas desocupadas;
- b) Reduzir os custos relativos aos termos de contrato com as concessionárias;

A empresa Schneider Eletric (2003) aconselha as indústrias a:

- a) Utilizar filtros para reduzir as perdas devido às correntes harmônicas capacitivas em cabos e transformadores;
- b) Utilizar motores equipados com inversores de frequência para aplicações industriais, suavizando dessa forma os picos de consumo durante a partida do motor;
- c) Suavizar os picos de consumo evitando penalidades da concessionária de energia.

Guy Gatine (1991) aconselha as empresas utilizarem bancos de capacitores para evitar ser tarifado por potências reativas.

A Schneider Eletric (2003) afirma que um sistema inteligente deve ser capaz de:

- a) Fazer uso perfeito das potências descritas através de uma pré programação das cargas;
- b) Suavizar os picos de consumo através do uso de dispositivos de partida de motores como *Softstarter* e inversores de frequência nos motores de alta inércia.
- c) Selecionar a melhor opção de contratação disponível alocando os ciclos de produção que necessitam quantidades particularmente altas de energia em períodos quando o custo de energia é mais baixo.

### 3. FUNÇÕES DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA

De acordo com a Siemens (2005), satisfazer a todas as necessidades descritas por um sistema de gerenciamento de energia requer o uso de um sistema que conte com diversas ações automáticas e abasteça o operador, localmente ou remotamente, com informações precisas que lhe permitam prever as ações exigidas na instalação.

Segue abaixo algumas das funções de um sistema de gerenciamento de energia:

- a) Administração das falhas de energia;
- b) Administração dos custos de energia;
- c) Facilidade operacional em uma instalação elétrica;
- d) Fornecer informações para manutenção preventiva;

Segundo Antoine Jammes (1997) um painel inteligente é definida por sua capacidade de análise e tomada de decisões em suas funções atribuídas em uma instalação elétrica. Controlando a grande variedade das instalações baseadas na organização dos *softwares* e *hardwares* e na descentralização do processo.

Para as indústrias que se deparam com a necessidade da automatização e precisam obter dados relevantes do painel, um painel inteligente oferece:

- a) Confiança e flexibilidade;
- b) Soluções prontas, mesmo para grandes plantas;
- c) Redução de custos e implantação simplificada;
- d) Operação e manutenção mais fáceis.

Como parte de sua capacidade de análise e tomada de decisões o painel inteligente executa funções automáticas, conforme descrito a seguir.

#### 3.1 GERENCIAMENTO DE FONTES - TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA

Guy Gatine (1991) descreve que uma característica comum em instalações controladas por painéis elétricos com o conceito de inteligência é que as cargas são ligadas respeitando a disponibilidade de energia que chega ao painel das diferentes entradas (sistemas de comutação de fonte, normal e fontes alternativas, máquina – gerador, etc).

Esta função manobra dos disjuntores de entrada do painel, conforme os dados processados no próprio painel ou em outro próximo.

De acordo com Guy Gatine (1991), é perfeitamente lógico que essa função seja feita no próprio painel. Caso uma das entradas que alimentam o painel pare de fornecer energia por algum motivo, a outra entrada detecta essa deficiência e automaticamente passa a abastecer o painel, mantendo dessa forma a instalação energizada.

Se o diagrama de entrada é simples, por exemplo, uma fonte normal (proveniente da concessionária de energia) e outra reserva, a transferência automática é totalmente descentralizada e comandada por algum equipamento dedicado. Mas se o diagrama de entrada é mais complexo e depende da retirada seletiva dos dispositivos de saída, o comando da transferência ficará no nível da unidade central do painel.

### 3.2 REJEIÇÃO DE CARGA

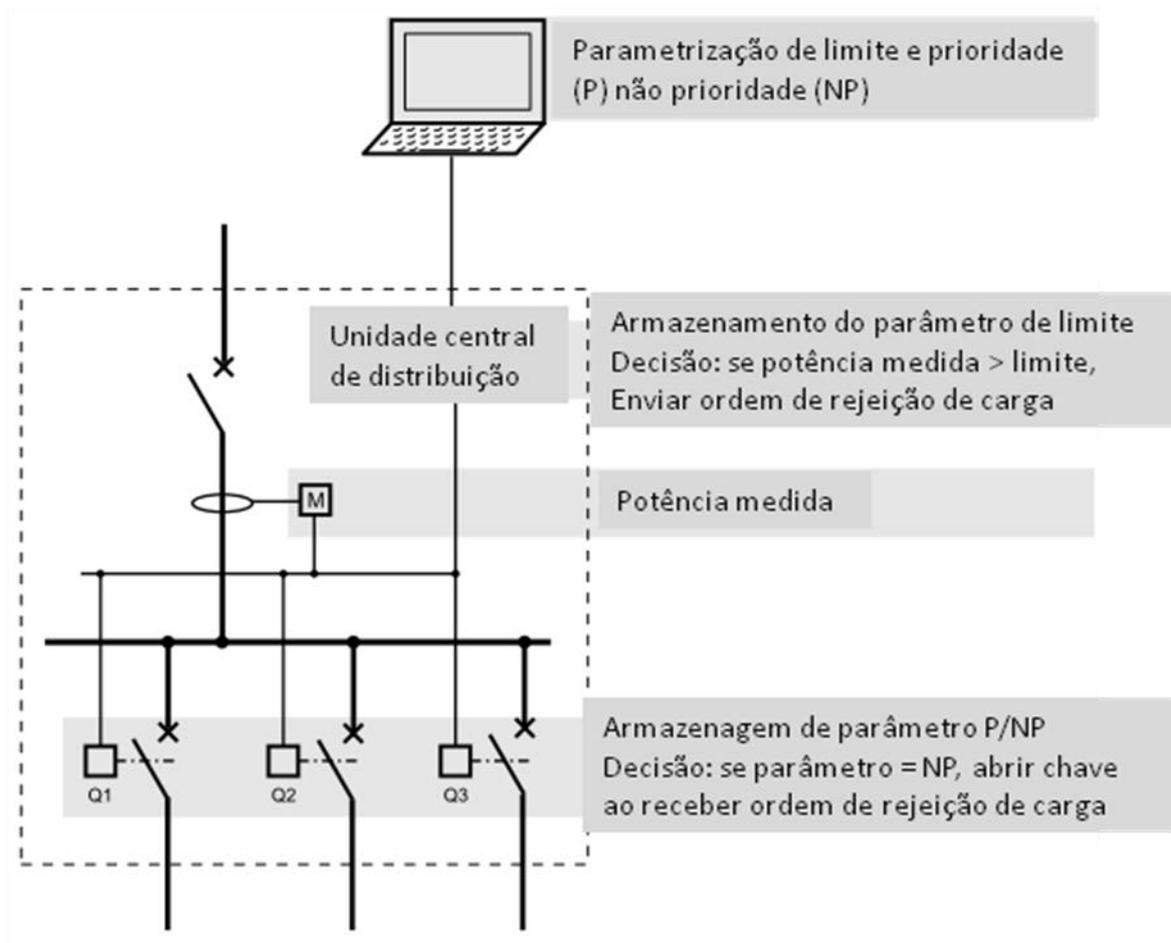
Essa função permite que quando a demanda da planta exceder o nível de energia disponível nas entradas como, por exemplo, quando a energia está sendo fornecida por um gerador, são ligadas somente as cargas com prioridade de funcionamento.

Em algumas situações (queda de tensão por problemas na distribuição, falha de uma fonte, demanda excessiva, etc.), poderá ser necessário retirar rapidamente um grupo de cargas não prioritárias do sistema.

A Figura 3 representa como a retirada de cargas não prioritárias é feita de uma maneira descentralizada, seguindo uma sobrecarga no painel de baixa tensão principal.

Antoine James (1997) afirma que em casos de rejeição de carga pelo painel inteligente a quantidade de informação trocada é muito pequena. A unidade central recebe o sinal, emite uma ordem através da rede e o respectivo disjuntor executa a ordem.

Figura 3 - Exemplo de um processo descentralizado de rejeição de cargas



Fonte: (adaptado Cahier Technique Schneider n° 186 / p.16)

### 3.3 PROTEÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A empresa Schneider Electric (2003) alerta que em grandes instalações industriais, algumas vezes ocorrem perturbações de sistemas (tensões transitórias) geradas devido à presença de grandes motores, provocando fenômenos de instabilidade transitória.

Uma instalação elétrica gerida dentro do conceito de inteligência em painéis elétricos de baixa tensão tem a função de proteção do sistema de distribuição de energia elétrica, que, de acordo com Schneider Electric (2003), assegura o funcionamento das cargas essenciais necessárias para evitar um colapso completo do sistema de distribuição elétrica.

### 3.4 ADMINISTRAÇÃO DO HORÁRIO DE TARIFA

Existe mais de um modelo de tarifação para consumo de energia elétrica em indústrias e de acordo com a concessionária de energia elétrica AES Eletropaulo (2014), a cobrança é baseada na aplicação de uma tarifa binômica, composta por duas grandezas:

- a) Consumo (kWh);
- b) Demanda (kW)

Para indústrias, existem dois modelos de tarifação, de acordo com a Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 456 de 30/11/200, denominados:

- a) Convencional

Neste sistema de cobrança, para o faturamento do consumo, fatura-se o valor total do consumo verificado em um período aproximado de 30 dias e para o faturamento da demanda, é aplicado o maior valor entre as seguintes demandas:

- Demanda Contratada: valor contratado pela indústria, correspondente a máxima carga a ser solicitada do sistema, no intervalo de 15 minutos.
- Demanda Registrada: máximo valor da potência integralizada (média), no intervalo de 15 minutos consecutivos, verificada no período de faturamento.

- b) Horo-Sazonal – THS

Nesse modelo de cobrança aplica-se preços diferenciados de demanda e consumo de acordo com a utilização da energia elétrica em determinados horários do dia e em períodos do ano.

A AES Eletropaulo (2014) informa que o deslocamento da carga para horários de menor carregamento do sistema de distribuição e consumo para períodos do ano de maior disponibilidade de energia elétrica trazem preços diferenciados ao consumidor da energia, que permitem ao consumidor gerenciar suas despesas.

A AES Eletropaulo (2014) alerta que em casos de ultrapassagem da demanda de energia elétrica contratada pela indústria, respeitados os limites de tolerância de que trata a legislação, atualmente 5%, o valor da tarifa passa a ser de 3 a 3,4 vezes o valor da tarifa normal.

Em instalações elétricas feridas dentro do conceito de inteligência em painéis elétricos, a operação da instalação é organizada para respeitar as condições de contrato assinadas com o distribuidor de energia (suavizar os picos de energia, tarifas especiais, etc).

Este tipo de função requer uma visão geral da instalação. Em muitos casos (pequenas e médias instalações) o painel de baixa tensão é o elemento central da instalação. Neste caso, o gerenciamento de energia é feito em um módulo central no painel de baixa tensão que pode ter os parâmetros ajustados localmente ou remotamente.

A empresa Siemens (2005) afirma que em uma planta grande (em média tensão) os painéis recebem instruções de operação de níveis mais altos do sistema.

### 3.5 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

De acordo com a Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº456 de 30/10 /2000, o fator de potência é um índice que mostra o grau de eficiência que um determinado sistema elétrico está sendo utilizado.

Esse índice pode assumir valores de 0 (zero) a 1 (um). Valores altos de fator de potência, próximo de 1 (um), indicam o uso eficiente da energia elétrica, enquanto que valores baixos evidenciam o mau aproveitamento.

Pela legislação atual, o índice de referência do fator de potência é 0,92. Instalações elétricas que apresentarem valores inferiores ao índice de referência serão multadas pela concessionária de energia.

A empresa Siemens (2007) explica que diversas cargas elétricas absorvem da rede, além da potência ativa, potência reativa necessária, por exemplo, para a magnetização de transformadores. Conduzir potência reativa implica em gastos desnecessários pois ela não pode ser utilizada.

A concessionária de energia AES Eletropaulo (2014) explica que a energia reativa é fornecida por diversas fontes ligadas ao sistema elétrico, tais como geradores, motores síncronos e capacitores funcionando de forma individual ou combinada. Os aparelhos utilizados em uma instalação industrial são, em sua maioria, geradores parciais de energia reativa indutiva e que não produzem nenhum trabalho útil, pois apenas são responsáveis pela formação do campo magnético dos referidos aparelhos.

As próprias linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica são fontes parciais de energia reativa devido a sua reatância. Portanto a energia reativa é em sua maioria suprimida pela fonte geradora normalmente localizada distante da planta industrial. Porém sempre que as fontes de energia reativa ficam em terminais muito distantes da carga ocorrem perdas na transmissão deste bloco de energia reduzindo o rendimento do sistema elétrico. Desta forma, a AES Eletropaulo (2014) aconselha que a fonte geradora de energia reativa seja instalada no próprio prédio industrial, aliviando a carga de todo o sistema que, desta forma, poderia transmitir mais energia que realmente resultasse em trabalho. Esta fonte pode ser obtida através da instalação de um motor síncrono superexcitado, ou mais economicamente, através da instalação de capacitores de potência.

Diversas são as causas que resultam em um baixo fator de potência (fp) em uma instalação elétrica industrial. Abaixo a AES Eletropaulo (2014) relaciona algumas delas:

- a) Motores de indução trabalhando em vazio durante um longo período de operação;
- b) Motores sobre dimensionados para as máquinas a eles acopladas;
- c) Transformadores em operação em vazio ou em carga leve;
- d) Fornos a arco;
- e) Fornos de indução eletromagnética;
- f) Máquinas de solda a transformador;
- g) Grande número de motores de pequena potência em operação durante um longo período.

Algumas causas que resultam em um baixo fator de potência podem estar presentes tanto em instalações comerciais como industriais. A AES Eletropaulo (2014) também relaciona algumas delas:

- a) Grande número de reatores de baixo fator de potência suprindo lâmpadas de descarga (lâmpadas fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor sólido, etc.);
- b) Equipamentos eletrônicos, cujos transformadores das fontes de alimentação interna geram energia reativa.

A AES Eletropaulo (2014) aconselha as indústrias a se manterem atentas a essas possíveis causas de um baixo fator de potência em uma instalação elétrica a fim de evitar muitas indesejáveis e possibilitar a criação de condições para que os custos de expansão do sistema elétrico que o serve sejam distribuídos para a sociedade de uma forma mais justa.

Um painel elétrico inteligente pode gerenciar a comutação dos bancos de capacitores, que devem ser instalados para fazer a correção do fator de potência da instalação elétrica. Tal

correção utilizando banco de capacitores é feita através de um regulador automático de fator de potência. De acordo com a empresa Siemens (2007), este tipo de regulador deve operar com autonomia de mais de 90% das instalações.

A comunicação do regulador de fator de potência com o sistema de gerenciamento de energia pode ser implementada para as seguintes funções:

- a) Ajuste de parâmetros pela estação de supervisão;
- b) Atuar nos alarmes processados pela unidade central do painel;
- c) Informar a estação de manutenção dos painéis;
- d) Coordenação do controle de fator de potência com outras funções do painel.

A empresa Schneider Electric (2003) exemplifica que, durante uma operação com o gerador, os capacitores devem ser desconectados. Isto pode ser feito pelo disjuntor de entrada do banco de capacitores ou por um comando de desliga do regulador se este estiver conectado em rede de comunicação com a unidade central do painel elétrico ou o relé de transferência automática.

### 3.6 INFORMAÇÕES PARA TOMADA DE AÇÕES

O principal propósito das funções apresentadas é fazer com que o painel de baixa tensão seja autônomo, ou seja, capaz de reagir às várias situações adversas que podem ocorrer em uma instalação elétrica industrial e assegurar a continuidade do serviço em ótimas condições operacionais.

O segundo propósito de função em um painel inteligente é a capacidade de comunicação, informando os dados necessários para planejamento e tomada de ações.

Estas informações incluem:

- a) O estado dos dispositivos de seccionamento (aberto ou fechado);
- b) Medições (tensão, corrente, potência, fator de potência);
- c) Ajustes das proteções dos dispositivos;
- d) Controle local e remoto através de uma estação de monitoramento;
- e) Sistemas de controle de processo: Antes que o operador possa ser informado e tome a devida ação, o painel de comando inteligente tem que se comunicar primeiramente com um sistema de alto-nível que possa ser consultado pelo eletricitista ou pela pessoa encarregada.

A empresa Siemens (2005) considera que durante uma operação normal, um painel de baixa tensão inteligente deve controlar e administrar a instalação elétrica. Porém, o sistema é ainda útil quando ocorre a ação programada de um evento em uma situação de falha.

Abaixo segue um exemplo de um disjuntor, comunicado pelo painel de baixa tensão inteligente, no evento de uma falha.

- a) No disjuntor a informação é disponibilizada por um indicador mecânico;
- b) Perto do disjuntor, uma luz vermelha identifica que dispositivo entrou em falha;
- c) Em uma tela acima do painel, uma mensagem em texto clara é exibida "falha 1 – que indica - falha devido a um curto circuito";
- d) Na tela do supervisor ou gerente elétrico, a mesma mensagem é mostrada.
- e) O supervisor principal (no quarto do segurança, por exemplo), uma mensagem em texto clara é exibida "Falha 1 - defeito devido a uma falha elétrica - chame o departamento elétrico no ramal 5555";

De acordo com a Siemens (2005), outro ponto de grande importância para o planejamento é a manutenção preventiva, se estiverem disponíveis:

- a) Informações sobre a proteção e o de controle nos painéis de baixa tensão;  
Estas informações podem ser disponibilizadas por contadores de manobras indicando o número de vezes que um dispositivo abriu ou fechou, um indicador da soma total das correntes interrompidas e etc.
- b) Informações sobre a instalação elétrica, por exemplo, do número de horas das cargas alimentadas em operação.

### 3.7 MANUTENÇÃO

O principal objetivo de um departamento de manutenção em uma indústria é manter a planta inteira, inclusive a instalação elétrica, sempre em funcionamento.

Existem basicamente dois tipos de manutenção.

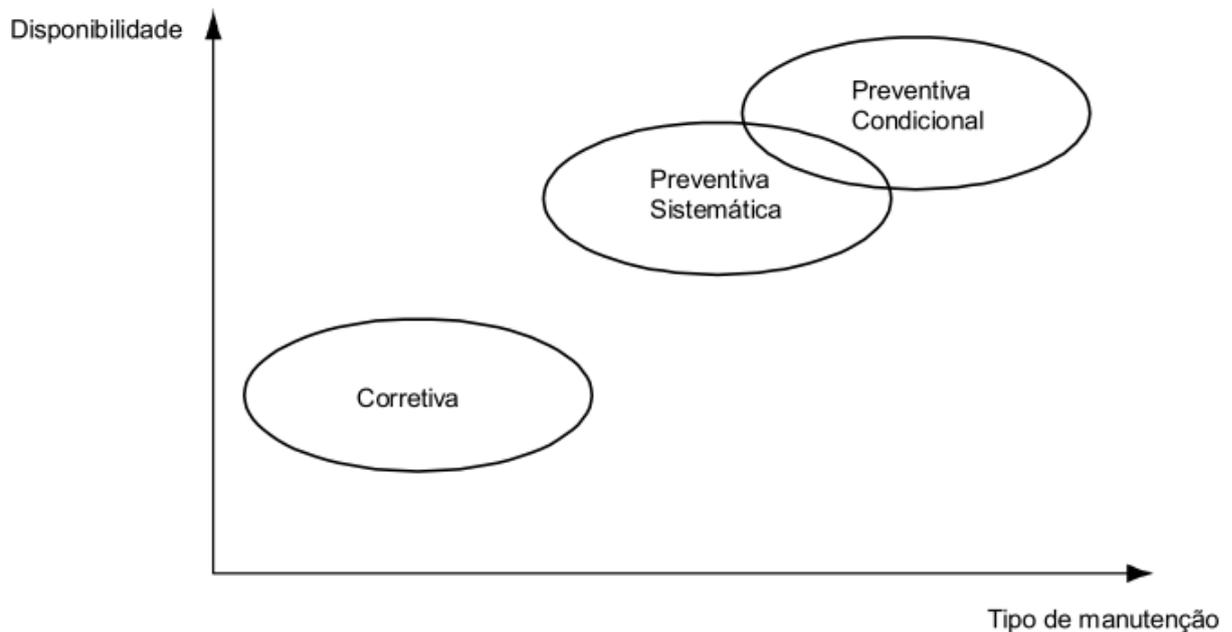
- a) Manutenção corretiva, que corrige uma falha operacional na sua ocorrência;
- b) Manutenção preventiva, periódica.

Antoine Jammes (1997) afirma que a manutenção pode ser melhorada de duas maneiras:

- a) Acentuando a ação preventiva no lugar da ação corretiva, evitando interrupções na continuidade de serviço;
- b) Para o nível preventivo, acentuar a manutenção condicional, ou seja, ação que leva em conta o monitoramento de dados, no lugar da manutenção sistemática.

Antoine Jammes (1997) afirma também que quanto maior é a frequência da manutenção preventiva, baseada em informações monitorada, maior será a probabilidade de disponibilidade da instalação em pleno funcionamento, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Disponibilidade operacional em função do tipo de manutenção



Fonte: (adaptado Cahier Technique Schneider n° 186 / p.6)

Dependendo do tipo de aplicação, o tempo necessário para a execução de uma manutenção pode ser crítico caso não haja pessoas disponíveis no local para manutenção ou peças sobressalentes em estoque. Nesta ocasião, os fornecedores externos podem estar distantes dos edifícios comerciais, além disto, o tempo necessário para o término dos serviços nas instalações sempre depende das informações disponíveis no momento.

Ao executar manutenção preventiva com informações detalhadas do estado da instalação, é possível selecionar inteligentemente a maioria dos elementos que necessitam de um reparo.

Antonie Jammes (1997) ressalta que para executar a manutenção, é necessário que a equipe que realizará o serviço tenha informações pertinentes ao estado da instalação e que prover informações ao departamento de manutenção de uma indústria é uma das vantagens dos sistemas de gerenciamento de energia inteligentes.

Guy Gatine (1991) afirma que um sistema descentralizado implementa um grande número de unidades de processamento, no entanto, suas taxas de falhas não são acumulativas.

O número limitado de pontos de conexão reduz o número de falhas. Segundo Gatine (1991) o sistema de auto teste em dispositivos digitais e em barramentos de comunicação, podem detectar praticamente 100% de possíveis falhas.

## 4. SOLUÇÕES ATUAIS DISPONÍVEIS

As funções descritas e apresentadas anteriormente já estão disponíveis através da utilização de diversas soluções técnicas diferentes. A empresa Siemens (2005) exemplifica algumas delas:

- a) Nas indústrias, através da inclusão do gerenciamento elétrico das instalações já implantadas devido ao controle dos processos industriais;
- b) Nos edifícios comerciais, através da inclusão dos sistemas de gerenciamento de distribuição elétrica nos sistemas de administração existentes;
- c) Soluções implementadas para um centro de controle de motores (CCM) ou nos painéis de distribuição de energia.

Nos próximos capítulos é detalhado a terceira opção (CCM) que é uma parte fundamental de qualquer instalação elétrica.

### 4.1 APRESENTAÇÃO DO CCM

CCM's são painéis completos (montados) que acomodam equipamentos para proteção, seccionamento e manobra de cargas. Tem uma função específica nos sistemas de distribuição de energia elétrica em unidades comerciais e industriais. São os painéis onde estão conectados os cabos provenientes das cargas.

Apesar de aproximadamente 85% das cargas industriais serem motores (motivo do nome “Centro de Controle de Motores”), o termo “cargas” é abrangente, podendo significar qualquer equipamento que consuma energia elétrica, como estufas e resistores, etc. (LAVILL, 2004, p.2).

A norma pertinente a estes painéis de baixa tensão é a NBR IEC 60439-1 [Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaio de tipo parcialmente testado (PPTA)] e se aplica a casos em que a tensão nominal não exceda 1000 VCA ou 1500 VCC e frequências que não excedam 1000Hz.

No conceito TTA o desempenho é assegurado por ensaios de tipo realizados individualmente nos diversos componentes (barramentos, entradas, alimentadores, partidas, etc.) e nos conjuntos completos. Estes ensaios tem a finalidade de assegurar o desempenho do conjunto e minimizar os riscos decorrentes de erros nos projetos de engenharia.

No tipo PPTA apenas alguns componentes são testados e ensaiados. Os outros são derivados de cálculo matemático ou inferências a partir de conjuntos similares.

Os CCM's podem ser montados de forma não compartimentada onde existe uma placa de montagem única com os conjuntos de proteção e manobra de cargas individuais instaladas juntas nesta mesma placa ou de forma compartimentada onde os equipamentos de proteção e manobra de cada carga estão montados em compartimentos separados dentro do painel. Neste caso o CCM pode ser fixo ou extraível.

No CCM compartimentado fixo, dentro de cada compartimento é montada uma placa de montagem fixa não removível onde são alocados os equipamentos para proteção e manobra da partida.

No CCM compartimentado extraível, dentro de cada compartimento é montada uma gaveta que pode ser removida do painel sem o auxílio de ferramentas. Os equipamentos para proteção e manobra da partida são montados dentro das gavetas, minimizando os tempos de parada, pois é possível substituir tais gavetas rapidamente.

A Figura 5 representa um CCM compartimentado extraível com a porta frontal aberta. Fatores como facilidade na manutenção devido à instalação ser centralizada e segurança do operador durante a manutenção ficam evidentes.

Figura 5 - CCM em manutenção



Fonte: (WEG, 2010)

As gavetas de um CCM compartimentado extraível possuem a profundidade e largura definida pelo painel, entretanto a altura da mesma é definida pela potência do motor e tipo de acionamento.

Além da facilidade na manutenção, vantagens como modularidade do sistema que permite ampliações, intercambialidade funcional que permite o uso de gavetas reservas para um mesmo acionamento e elevada segurança fazem com que este modelo de CCM seja o mais utilizado no mercado.

As gavetas extraíveis podem possuir até quatro posições de operação que são utilizadas em diferentes etapas da operação e manutenção dos circuitos conforme apresentado na Figura 6 e Figura 7.

No CENTERLINE 2500 da Rockwell Automation temos as seguintes posições:

- Conectada: as conexões de linha, carga, controle, rede e terra estão todas engatadas e para operação a porta da gaveta deve estar totalmente fechada.
- Teste: as conexões de controle, rede e terra estão engatadas. As conexões de linha e carga estão isoladas e isso permite ao usuário verificar a fiação de controle e rede.
- Desconectada: apenas a conexão de terra continua engatada. Esta é uma posição isolada onde a gaveta pode ser travada com a alavanca de extração.
- Extraída: gaveta completamente removida da coluna. O painel continua em operação, porém sem tal posição de acionamento.

Figura 6 - Gaveta extraível e alavanca de extração



Fonte: (Rockwell, 2010)

Figure 7 - Posições de gaveta extraível

Posição Conectada



Posição Teste



Posição Desconectada



Posição Extraída



Fonte: (Rockwell, 2010)

## 4.2 APLICAÇÕES DO CCM

Os CCMs em geral são desenvolvidos para atender aos mais diversos seguimentos de mercado, atendendo a requisitos de qualidade e desempenho de padrões internacionais. Projetados com um alto índice de padronização, permitem facilidades de montagem, instalação, manutenção e intercambiabilidade entre gavetas de mesmo modelo de CCM e de mesmo tamanho e função.

Alguns exemplos de aplicações são subestações de concessionárias, proteção e seccionamento principais de fábricas e instalações industriais, estações de bombeamento, sistemas ferroviários, usinas térmicas e hidrelétricas de geração de energia, subestação unitárias, entre outras.

Os principais setores atendidos são: químico e petroquímico, siderurgia e metalurgia, papel e celulose, mineração e cimento, alimentos e bebidas, plásticos e borracha, automobilístico, cerâmico, têxtil e refrigeração.

Os pré-requisitos que viabilizam a aquisição de um CCM são:

- Necessidade de comandar um grande número de cargas
- Necessidade de assegurar ao máximo a continuidade de operação
- Possibilidade de acesso de pessoal não qualificado
- Exigência de alto nível de segurança para os operadores e equipe de manutenção

## 4.3 CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES INTELIGENTES – CCMI

O CCM inteligente ou CCMI apresenta as mesmas características do CCM convencional. A grande diferença é que cada gaveta que compõe o conjunto pode incorporar uma chave Soft-Starter, um inversor de frequência ou um relé microprocessado acrescentando funções de proteção, monitoração, controle e comunicação em rede com acesso a sistemas digitais de controle e supervisão.

Com a utilização dos CCMI's é possível receber antecipadamente um alarme de problemas potenciais, eliminar desligamentos desnecessários, isolar falhas de modo a reduzir o tempo de parada e distribuir ou equalizar as cargas durante a manutenção, além de poder reduzir os trabalhos de fiação, necessidades de espaço e tempo de instalação.

O CCMI é preparado para se comunicar em rede com um ponto de conexão por gaveta, possibilitando que o comando e sinalização das partidas sejam conectados ao sistema de controle através de redes de comunicação industrial. As redes de comunicação são conectadas através das tomadas de comando, possibilitando que as gavetas sejam operadas remotamente quando as mesmas estiverem nas posições de “TESTE” e “INSERIDA”. Utilizada em conjunto com a fiação de comando, facilmente pode-se programar estratégias de acionamento do tipo LOCAL / REMOTO.

Os CCMI's são conjuntos essenciais para a produção, e com o avanço da tecnologia e a necessidade de monitoramento e controle da produção, a utilização de redes é uma solução que possibilita reduzir tempo de parada de horas para minutos, com melhores e mais completos diagnósticos, por meio de sistemas supervisórios que localizam com precisão os pontos problemáticos durante o processo de produção, de modo que se possa saber o que e onde interferir e corrigir.

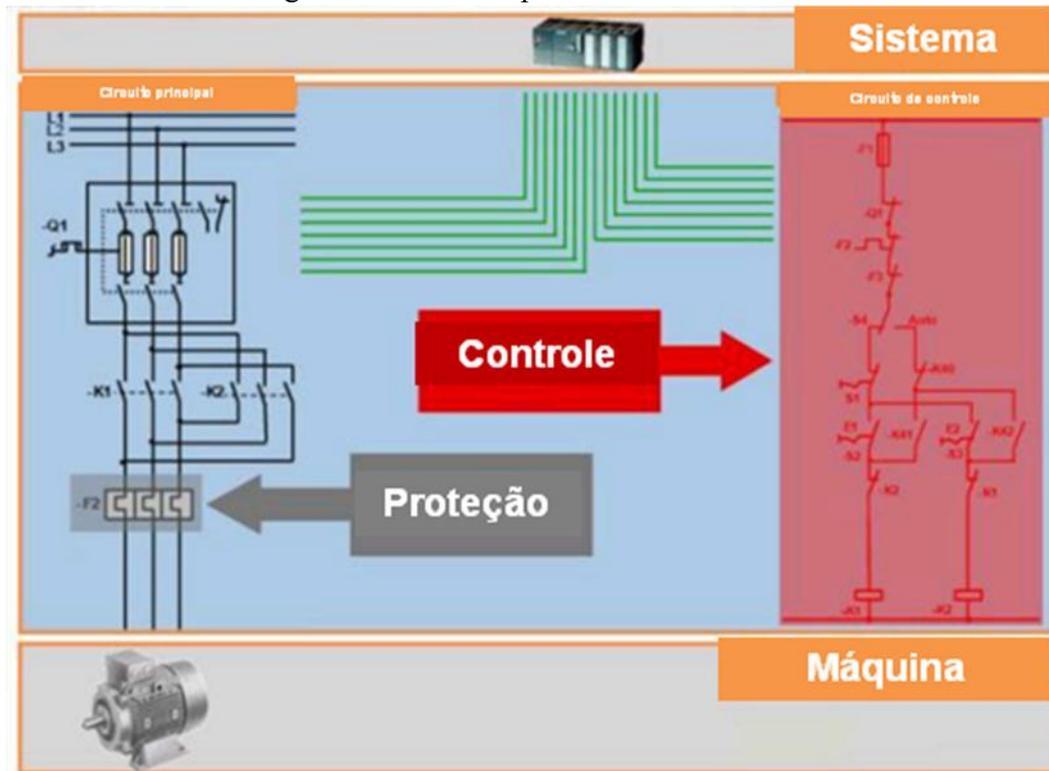
#### 4.4 VANTAGENS DE UM SISTEMA INTELIGENTE

Para a melhor compreensão do conceito de um sistema de gerenciamento de motores inteligente, é apresentada uma chave de partida com o sistema de gerenciamento convencional e com o sistema de gerenciamento inteligente.

##### **4.4.1 Sistema de partida direta de motores convencionais**

Uma chave de partida de motores é normalmente composta de um circuito principal conectado ao motor e de um circuito de comando, conforme exposto na Figura 8.

Figura 8 - Chave de partida convencional



Fonte: (adaptado Siemens, 2006)

O circuito principal precisa ser protegido contra uma sobrecarga e em casos mais simples, esta proteção é efetuada por um relé térmico convencional.

A empresa Schneider Electric (2003) afirma que a sobrecarga é o defeito mais frequente dos motores. Ele se manifesta por um aumento da corrente absorvida pelo motor e por efeitos térmicos. Uma ultrapassagem da temperatura limite de funcionamento de um motor reduz sua vida útil e pode o destruir.

A Schneider Electric (2003) adverte que na ocorrência de sobrecarga do motor é importante rever rapidamente as condições de funcionamento normais para aperfeiçoar a duração de vida dos motores proibindo seu funcionamento nas condições anormais de aquecimento.

O circuito de comando atua na bobina do contator do circuito principal, considerando todos os intertravamentos necessários para a uma chave de partida;

A empresa Siemens (2005) afirma que para transportar as informações relevantes, é necessário que todos os sinais de comando e resposta, como motor ligado, motor desligado, sobrecarga do motor, etc., estejam conectadas as entradas e saídas de um CLP (Controlador Lógico Programável).

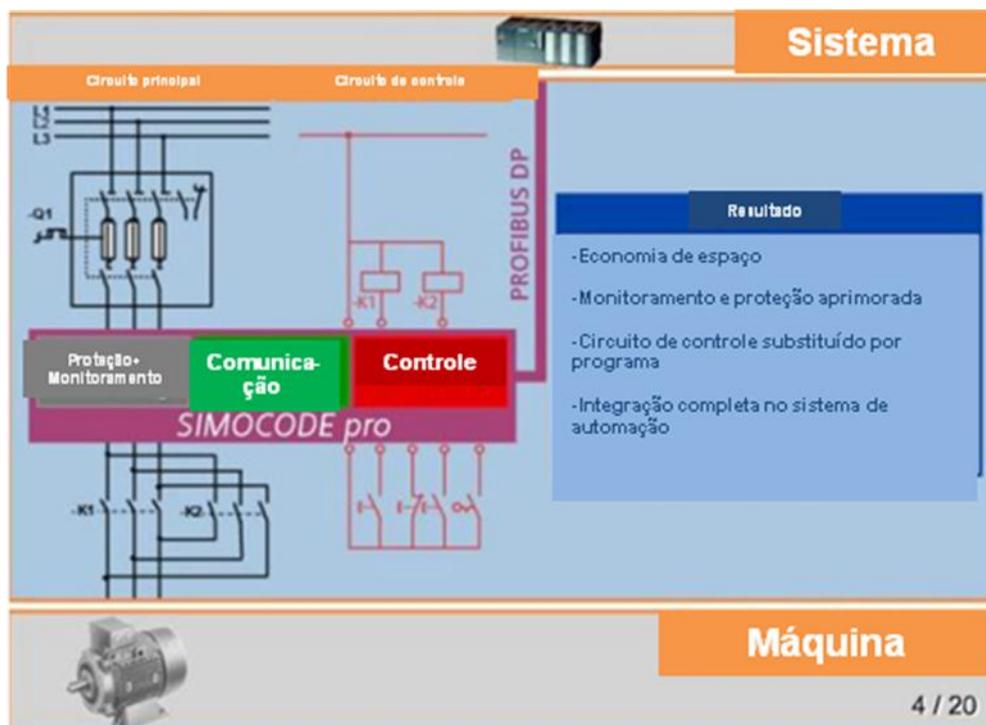
A Siemens (2005) informa que atualmente cerca de 80% de todas as chaves de partidas de motores são montadas conforme descrito, ou seja, somente com componentes convencionais.

#### 4.4.2 Sistema inteligentes de partida de motores

Uma chave de partida com o dispositivo de gerenciamento de motores inteligente, também é composta por um circuito principal e um circuito de comando, a diferença em relação a um sistema convencional é que é possível juntar em um único sistema as funções que antes estavam separadas, ou seja, a proteção realizada pelo relé de sobrecarga e o comando no CLP.

A empresa Siemens (2006), afirma que, com a utilização de um dispositivo de gerenciamento de motores inteligente é possível integrar proteção, monitoração, controle, funções de gerenciamento de energia e comunicação em apenas um dispositivo e, além disto, a comunicação é integrada, o que possibilita a obtenção de uma chave de partida compacta, economizando espaço, facilidade de execução de projeto e de sua colocação em funcionamento, conforme exposto na Figura 9.

Figura 9 - Chave de partida com SIMOCODE PRO



Fonte: (adaptado Siemens, 2006)

As funções de comando e proteções integradas ao dispositivo de gerenciamento são parametrizáveis, trazendo flexibilidade em sua aplicação.

Através de uma interface de comunicação é possível à integração em um sistema de automação, desta forma a densidade de informações fornecidas ao sistema de automação é muito superior ao que poderia ser considerado em uma montagem convencional. Nas instalações industriais modernas o conceito de inteligência distribuída vem se tornando cada vez mais comum, as mesmas são caracterizadas por uma distribuição de informação estruturada de forma gradual com um padrão aberto.

A Siemens (2006) explica que o dispositivo de gerenciamento inteligente controla a partida com ou sem a sua interface de comunicação, devido a seu processamento descentralizado, e que também é possível determinar o comando ideal do motor dependendo da sua aplicação. O gerenciamento de motor pode atender as exigências de todas as aplicações e com isso atuar além da supervisão do motor, isto leva a um aumento da disponibilidade nas aplicações e possibilita, se necessárias, operações inteligentes e independentes.

#### 4.5 OUTROS MÉTODOS DE PARTIDA INTELIGENTE DE MOTORES

O sistema de partida de motores do tipo direta é uma solução apropriada para o funcionamento de uma grande variedade de máquinas, no entanto, esse tipo de acionamento tem algumas limitações que podem torná-lo inconveniente para certas aplicações:

- a) Elevação de corrente na partida que pode perturbar o funcionamento de outros aparelhos ligados à rede;
- b) Golpes mecânicos no momento da partida e parada do motor prejudicial para a máquina, ou para o conforto e segurança dos usuários;
- c) Funcionamento a velocidade constante.

Os soft-starters (partida suave) e conversores estáticos eletrônicos eliminam estes inconvenientes. Destinados ao comando de motores de corrente contínua e corrente alternada, asseguram a aceleração e a desaceleração progressivas do motor e permitem uma adaptação rigorosa da velocidade às condições de operação. Conforme o tipo de motor, os acionamentos utilizados são do tipo conversor de corrente contínua, conversor de frequência ou regulador de tensão.

#### 4.5.1 *Softstarter* e conversores estáticos eletrônicos

O *soft starter*, como o próprio nome já diz, é um dispositivo que executa a partida e a parada suave de um motor elétrico. A seguir é listado e explicado algumas de suas funções:

a) Aceleração controlada.

A aceleração do motor é controlada por meio de uma rampa de aceleração linear ou em “S”. Esta rampa é geralmente regulável, permitindo variar o tempo de aceleração.

b) Variação de velocidade.

A velocidade do motor é definida por uma grandeza de entrada (tensão ou corrente) chamada referência. Para um dado valor de referência, esta velocidade pode variar em função das perturbações (variações da tensão de alimentação, da carga, ou da temperatura).

c) Desaceleração controlada.

Quando um motor é desligado, a sua desaceleração é determinada unicamente pelo conjugado resistente da máquina (desaceleração natural). Os dispositivos de partida e os conversores eletrônicos permitem controlar a desaceleração por meio de uma rampa linear ou em “S”, geralmente independente da rampa de aceleração. A rampa pode ser regulada de forma a obter um tempo de passagem da velocidade em regime permanente a uma velocidade intermediária ou nula. Esse tempo pode ser inferior ou superior ao tempo de desaceleração natural do motor, de acordo com a necessidade da aplicação desejada.

d) Inversão do sentido de rotação.

A empresa Schneider Electric (2003) afirma que essa função pode ser comandada com o motor parado após desaceleração sem frenagem elétrica, ou com frenagem elétrica para se obter uma desaceleração e uma inversão rápida.

e) Proteções integradas.

Os conversores modernos geralmente asseguram a proteção térmica dos motores e a sua própria proteção. A Schneider Electric (2003) explica que a partir da medição da corrente, um microprocessador calcula a elevação de temperatura do motor e emite um sinal de alarme ou de desligamento em caso de aquecimento excessivo.

#### 4.5.2 Acionamentos estáticos

De acordo com a empresa Schneider Electric (2003), um acionamento estático é um conversor de energia cuja função é modular a energia elétrica fornecida ao motor. Os tipos de acionamentos mais utilizados são os seguintes:

a) Conversor de corrente contínua.

Este dispositivo fornece corrente contínua, a partir de uma rede de corrente alternada monofásica ou trifásica, controlando o valor médio da tensão. Obtém-se a variação desta tensão modificando o ângulo de condução dos semicondutores de potência.

b) Inversor de frequência.

Inversores de frequência são recomendados, assim como soft-starters, para reduzir picos de consumo de energia no momento da partida de motores.

Este dispositivo fornece, a partir de uma rede de corrente alternada em frequência fixa, uma tensão alternada de valor eficaz e de frequência variável (segundo a lei  $U/f = \text{constante}$ ). O circuito de potência é constituído por um retificador e um ondulador.

c) Regulador de tensão.

Este dispositivo fornece, a partir de uma rede de corrente alternada monofásica ou trifásica, uma corrente alternada de frequência fixa igual à da rede, controlando o valor eficaz da tensão. Obtém-se a variação desta tensão modificando o ângulo de condução dos semicondutores de potência.

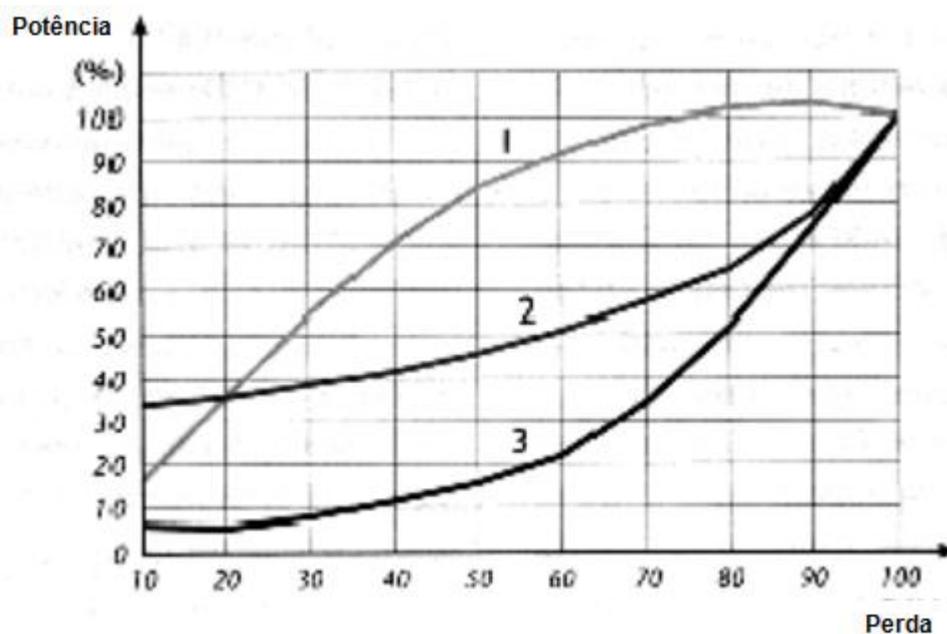
A empresa Schneider Electric (2003) afirma que reguladores de tensão são utilizados habitualmente como dispositivos de partida progressiva para motores assíncronos de rotor gaiola padrão sempre que não seja necessário um conjugado de partida elevado, podendo também ser utilizado como inversor de velocidade para motores assíncronos de rotor gaiola resistente ou de rotor bobinado.

### 4.5.3 Inversores de frequência e economia de energia

Para as aplicações em conjugado quadrático (bombas e ventiladores), a empresa Schneider Electric (2003) acredita que é interessante comparar o consumo de energia entre duas soluções técnicas:

- Motor diretamente alimentado pela rede, e variação de vazão realizada por um sistema de ventilação a montante ou a jusante para um ventilador, conforme demonstrado nas curvas 1 e 2 da Figura 10;
- Motor alimentado por um inversor de frequência e algum dispositivo de restrição de vazão sobre a máquina, demonstrado na curva 3 da Figura 10.

Figura 10 - Curvas inversores de frequência e economia de energia



Fonte: (Schneider Electric, 2003)

A Figura 9 mostra claramente que para uma vazão menor que 80% a economia de potência atende 50% se tomarmos por referência a curva 1 (ventila a jusante). As diferentes simulações mostram na maioria dos casos que o retorno de investimento em velocidade variável acontece antes de 1 ano. Nesta hipótese, o inversor de frequência apresenta uma vantagem: a corrente consumida está em fase com a rede, de onde uma diminuição dos bancos de capacitores restabelece o fator de potência.

## 5. REPRESENTANTES DO MERCADO

Neste capítulo são analisados os CCMIs oferecidos pelas empresas conforme descrito no Quadro 1 e apresentado na Figura 11:

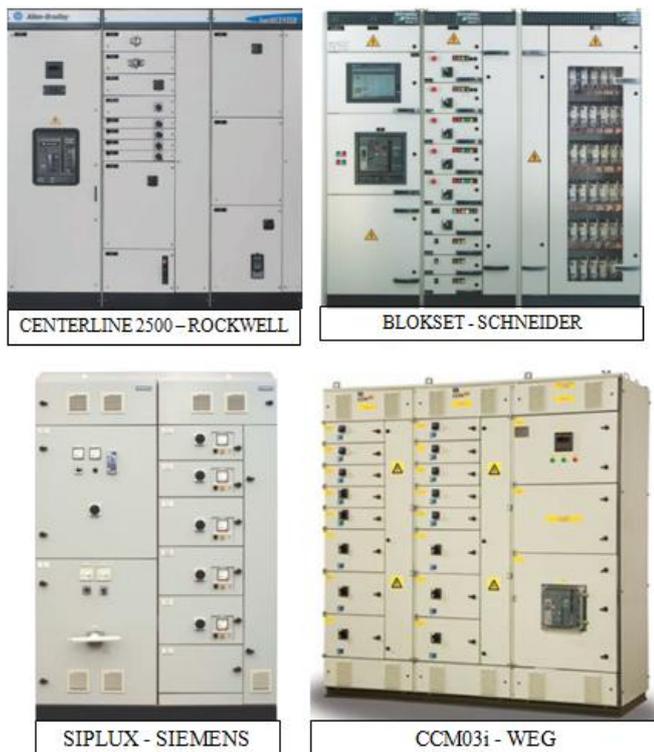
- Schneider Eletric
- Siemens LTDA
- WEG Eletric Corp
- Rockwell Automation

Quadro 1 – Produtos e empresas analisadas

Empresa	CCMI	Relé Inteligente
Rockwell Automation	CENTERLINE 2500	E3 PLUS
Schneider Eletric	BLOKSET	TeSys T
Siemens LTDA	SIPLUX	SIMOCODE PRO
WEG S.A	CCM03i	SRW01

Fonte: (produção do próprio autor)

Figura 11 - Produtos analisados



Fonte: (produção do próprio autor)

A metodologia tem foco em aprofundar o conhecimento de um centro de controle de motores inteligentes sendo apresentadas as principais vantagens destacadas pelos concorrentes. As características básicas comuns entre eles são apresentadas e as comparações tendem a demonstrar que não existe um produto melhor e sim um produto mais adequado para cada aplicação.

## 5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Ao considerar as características técnicas dos CCMIs analisados pode-se comprovar com o Quadro 2 que estes produtos são equivalentes em suas respectivas empresas para atender o mesmo mercado, validando assim que a comparação é adequada.

Quadro 2 - Características técnicas dos concorrentes

Características Técnicas				
	CENTERLINE 2500	BLOKSET	SIPLUX	CCM03i
Tensão nominal máxima	690 VCA	690 VCA	690 VCA / 600VCC	690 VCA
Frequência de operação	50 - 60Hz	50 - 60Hz	50 - 60Hz	50 - 60Hz
Tensão de isolamento	1000 VCA	1000 VCA	1000 VCA	1000 VCA
Corrente nominal	até 4000A	até 4000A	até 4000A	até 3150 A
Grau de proteção	até IP54	até IP54	até IP52	até IP42
NBR IEC 60439-1*	sim	sim	sim	sim
IEC 61641**	sim	sim	sim	sim
Painel TTA	sim	sim	sim	sim
Painel PTTA	sim	sim	sim	sim

\* Norma conjuntos de manobra e controle de baixa tensão

\*\* Norma de arco interno em painéis

Fonte: (produção do próprio autor)

A base de dados foi extraída dos catálogos e manuais dos produtos onde é possível confirmar que além das características elétricas, existe uma grande similaridade nos aspectos mecânicos como intertravamentos, barramentos verticais e horizontais, possibilidade de subdivisão dos painéis em compartimentos e formar construtiva.

Sobre intertravamento mecânico, todas as gavetas de acionamento nos painéis analisados permitem a execução nas três posições mencionadas:

INSERIDA (I): entrada de força da gaveta energizada e pronta para funcionamento.

TESTE (T): entrada de força da gaveta desenergizada, possibilitando somente testes do circuito de comando.

EXTRAIDA (E): circuitos de força e comando desenergizados possibilitando a retirada da gaveta.

Com a possibilidade de colocar até três cadeados quando a porta da gaveta estiver fechada, garantindo assim uma maior segurança ao operador.

Em caso de utilização de seccionadora ou disjuntor para comando sob carga, não há possibilidade de abertura da porta com o circuito sob tensão e para tal acesso é necessário desligar a seccionadora ou disjuntor.

Em todos os painéis o barramento principal está localizado na parte superior da coluna, porém opcionalmente pode ser projetado na parte inferior, o barramento vertical está localizado atrás da coluna, protegido por um duto metálico evitando toques acidentais. Através de orifícios projetados é possível à medição por termovisão nos contatos das garras, a barra terra é montada horizontalmente no compartimento oposto ao do barramento principal, sendo fixada na estrutura da coluna conforme Figura 12.

A barra de neutro é constituída de barra retangular e é montada isoladamente no compartimento do barramento principal, o barramento vertical para configuração extraível possui obturadores (guilhotinas) automáticos que impedem o toque acidental ou inadvertido, quando as gavetas forem retiradas de seus compartimentos.

Figura 12 - Barramentos dos painéis



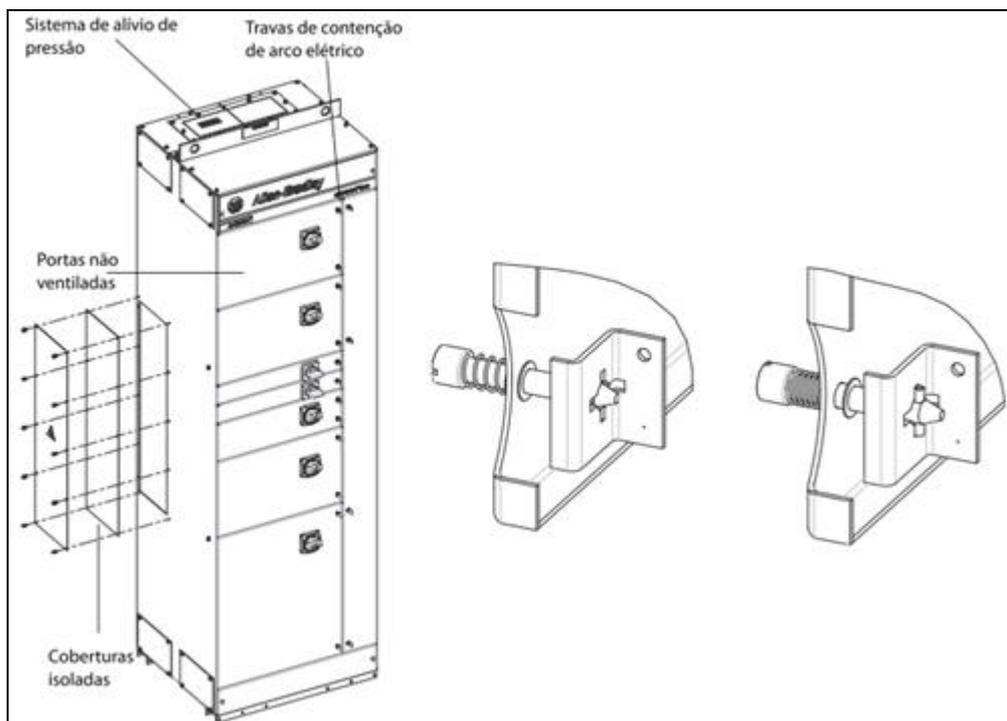
Fonte: (produção do próprio autor)

Visto que a parte construtiva e as características elétricas básicas são similares, nota-se que a estratégia dos concorrentes para promover os seus produtos está na gama de opcionais que possibilita customizar o painel para determinada aplicação e um foco direcionado para os relés inteligentes, soft-startes e inversores devido as suas funções de monitoramento e controle.

Como exemplo está um opcional disponível no CENTERLINE 2500 da Rockwell chamado Arc Shield que fornece proteção para o conjunto e para os funcionários para durações de arcos elétricos de até 300ms.

Diferenciando dos concorrentes, com este opcional o painel adquire vantagens como o fato dos gabinetes não possuírem ventilação frontal, protegendo as pessoas localizadas na frente do CCMI em um eventual arco interno conforme apresentado na Figura 13. Um sistema de alívio de pressão projetado para exaustão de gases na parte superior do gabinete e travas com refreamento de contenção em todas as portas, sendo capazes de suportar a alta pressão interna para manter a porta travada junto ao CCMI durante uma falha transformam este produto em um dos mais seguros para os operadores e para a estrutura da sala elétrica aonde será instalado.

Figura 213 - Opcional ArcShield CENTERLINE 2500



Fonte: (ROCKWELL, 2010)

## 6. ESTUDO DE CASO

Esse estudo de caso é baseado na aquisição de um centro de distribuição de cargas (CDC) e cinco centros de controle de motores inteligentes que realizada no ano de 2007 pela empresa denominada Cliente I para sua nova unidade de produção do composto químico etilbenzeno. A empresa que venceu o processo de concorrência e forneceu os painéis em estudo foi a Siemens.

### 6.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO ESCOPO EM ESTUDO

A nova planta do Cliente I tem capacidade de produção prevista de 540.000 toneladas por ano e está localizada no polo petroquímico do sul, na cidade de Triunfo no Rio Grande do Sul.

Para elaboração das propostas técnicas e comerciais pelos fornecedores a empresa compradora emitiu documentos com especificações técnicas estabelecendo os requisitos básicos para projeto, fabricação, testes e inspeção dos novos painéis elétricos.

A seguir são listados alguns requisitos exigidos na especificação técnica emitida pelo Cliente I que são relevantes para compreensão do caso.

- a) Os painéis devem possuir supervisão de bobinas dos relés de bloqueio e das bobinas de abertura dos disjuntores. Deve ser previsto alarme na casa de controle e sinalização local, através de lâmpadas brancas. O alarme deve ser individual para os disjuntores de entrada e interligação. Devem ser previstos dois resumos de alarmes para os disjuntores de saída de uma mesma barra, sendo um para os disjuntores que alimentam os transformadores e CCMs e outro para disjuntores que alimentam motores. Os alarmes aqui mencionados devem também ser enviados remotamente via rede de comunicação.
- b) Os relés de proteção e medição deverão ser microprocessados tipo multifunção, com comunicação em rede Profibus DP.

- c) As gavetas dos CCMis deverão possuir relé inteligente com conexão do sistema de controle de alto nível, permitindo proteção eletrônica multifuncional de motores, protocolo aberto de comunicação via Profibus DP com todas as funções que uma combinação de partida necessita.
- d) O banco de capacitores operará de forma automática, sendo controlada por um sistema supervisor geral que determinará a entrada ou a saída dos estágios conforme a necessidade de reativo geral da instalação.
- e) Os inversores de frequência e soft starts devem possuir protocolo de comunicação ou rede Profibus DP.

A partir dos pré-requisitos descritos acima nota-se a forte tendência do mercado em exigir dos fornecedores apenas painéis elétricos inteligentes capazes de se comunicar em rede. As informações obtidas neste estudo de caso foram obtidas junto à empresa vencedora da fase de proposta, no setor responsável pelas vendas dos painéis de baixa tensão em todo Brasil, sendo desta empresa que se obteve informação de que no ultimo ano comercial, 2013-2014, não foi vendido nenhum painel de baixa tensão sem essa característica.

Todos os painéis em estudo operam com tensão nominal de 480V e são do tipo compartimentado extraível, ou seja, cada partida ou alimentador de motor é alocado em um compartimento único e isolado dos demais e, até um determinado limite de tamanho e corrente elétrica, esse compartimento é extraível, denominado gaveta.

Atendendo à especificação técnica, todos os conjuntos de partida de motores garantem a coordenação de curto circuito tipo 2, de acordo com a norma IEC 60 947-4, que afirma que dessa forma não há riscos para pessoas e instalações, ou seja, ocorre o desligamento seguro da corrente de curto circuito, não podendo haver danos ao relé de sobrecarga ou outro dispositivo, com exceção de leve fundição dos contatos e estes permitam fácil separação sem deformação significativa.

Para que isto ocorra, todos os conjuntos de partida de motores são projetados e seus componentes são especificados obedecendo às tabelas de coordenação de partida cujos conjuntos foram previamente testados e certificados em laboratórios. Um exemplo dessas tabelas de coordenação pode ser consultado no anexo C.

O centro de distribuição de cargas em estudo tem nome (TAG) de 10-PN-41 e é formado por:

- a) Dois disjuntores de entrada sendo um para abastecimento de energia fornecida pela concessionária e outro por abastecimento através de um gerador;

- b) Dois disjuntores de acoplamento;
- c) Seis disjuntores que alimentam os CCMis;
- d) Dois disjuntores reservas.

A corrente do barramento principal do painel é de 3200A e ele é composto por sete colunas.

O centro de controle de motores nomeado 10-CM-41 é formado por:

- a) Dois disjuntores de entrada de 800A cada um;
- b) Dezenove disjuntores alimentadores de motores.
- c) Um compartimento de automação;
- d) Formado por um total de quatro colunas.

O centro de controle de motores nomeado 10-CM-42 é formado por:

- a) Dois disjuntores de entrada de 800A cada um;
- b) Cinco disjuntores alimentadores de motores;
- c) Três conjuntos de partida direta de motores;
- d) Um compartimento de automação;
- e) Formado por um total de três colunas

O centro de controle de motores nomeado 10-CM-43A é formado por:

- a) Dois disjuntores alimentadores de motores;
- b) Vinte conjuntos de partida direta de motores;
- c) Dois conjuntos de partida suave de motores (soft starter);
- d) Um compartimento de automação;
- e) Formado por um total de sete colunas.

O centro de controle de motores nomeado 10-CM-43B é formado por:

- a) Dois disjuntores alimentadores de motores;
- b) Quatorze conjuntos de partida direta de motores;
- c) Três conjuntos de partida suave de motores (soft starter);
- d) Um compartimento de automação;
- e) Formado por um total de sete colunas.

O centro de controle de motores nomeado 10-CM-44 é formado por:

- a) Um disjuntor alimentador de motores;

- b) Quatro conjuntos de partida direta de motores;
- c) Dois conjuntos de partida suave de motores (soft starter);
- d) Um compartimento de automação;
- e) Formado por um total de cinco colunas.

Pode-se observar que os painéis são compostos em sua maioria por conjuntos de partida direta de motores, com acontece na maioria dos casos na indústria. O Cliente I optou por utilizar acionamentos de motores através de partida suave (soft startes) apenas para os motores de maior potência (185kW e 200kW). A maior partida de motores do tipo direta é de 75kW.

A relação completa dos acionamentos e dos componentes dos painéis estão nos anexos A e B.

## 6.2 CUSTO SISTEMA CONVENCIONAL X SISTEMA INTELIGENTE

O valor de venda do conjunto de painéis fornecido pela empresa vencedora descrito no item anterior, atendendo às características exigidas pelo comprador, contabilizando todos os impostos incidentes e a margem de lucro da vendedora é de R\$958.249,41 detalhados no quadro1 abaixo.

Quadro 3: Composição de preço do sistema inteligente

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Descrição do painel</b>	<b>Valor Total com ICMS (12%) e IPI (15%)</b>
1	1	CDC 10-PN-41	R\$ 143.995,02
2	1	CCMi 10-CM-41	R\$ 125.280,52
3	1	CCMi 10-CM-42	R\$ 88.477,02
4	1	CCMi 10-CM-43A	R\$ 210.093,94
5	1	CCMi 10-CM-43B	R\$ 219.222,36
6	1	CCMi 10-CM-44	R\$ 171.180,55
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 958.249,41</b>

Fonte: (produção do próprio autor)

Para simular o valor de venda do mesmo conjunto de painéis, porém sem os dispositivos que permitem a comunicação remota através de uma rede de comunicação e sem

nenhum dispositivo inteligente de gerenciamento dos painéis foram feitas as seguintes alterações nas propostas técnica e comercial originais.

- a) Em todos os disjuntores de entrada e acoplamento dos painéis foram retirados os acessórios chamados F02: Módulo COM15 – conexão a PROFIBUS e Breaker Status Sensor (sensor de estado do disjuntor);
- b) Foram retirados os softwares de parametrização dos disjuntores;
- c) Os relés inteligentes SIMOCODE pro, que além de fazer a função do gerenciamento inteligente e comunicação remota das partidas de motores fazem também a função de proteção do motor, conforme estudado neste trabalho, foram substituídos por relés de proteção contra sobrecarga convencional;
- d) Foram retirados os transformadores de corrente e os cabos de conexão dos relés inteligentes SIMOCODE pro;
- e) Foi retirado o Software de parametrização do relé inteligente SIMOCODE pro;
- f) Para garantir a coordenação de curto circuito tipo 2, alguns disjuntores e contatores dos conjuntos de partidas de motores foram substituídos, observando às recomendações das tabelas de coordenação de partida.
- g) Os cabos que permitem a comunicação através da rede PROFIBUS DP foram retirados;
- h) Os conectores que fazem a interligação dos cabos profibus com os equipamentos foram retirados;
- i) Os módulos de comunicação das chaves de partida suave (soft starter) foram retirados;
- j) Os compartimentos de automação, com todos os equipamentos internos (fonte de tensão, trilhos para alocação de equipamentos, cartões de entradas e saídas digitais e conectores) foram retirados.

Nos painéis adquiridos pelo Cliente I não há nenhum acionamento de motor através de inversores de frequência. Assim como nos soft starters, os inversores de frequência da empresa vencedora necessitam de um acessório que possibilite a comunicação em redes Profibus DP, portanto caso nesse conjunto de painéis houvesse algum motor acionado por inversor de frequência, na simulação de painel do tipo convencional bastaria retirar os módulos de comunicação dos inversores.

O valor de venda do conjunto de painéis da empresa vencedora para acionamento e proteção da mesma instalação elétrica em estudo, porém sem nenhum dispositivo de

gerenciamento inteligente e sem a capacidade de comunicação em rede, contabilizando os mesmos impostos incidentes e mesma margem de lucro da empresa vendedora é de R\$874.684,92 detalhados no quadro 2 abaixo.

Quadro 4: Composição de preço do sistema convencional

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Descrição do painel</b>	<b>Valor Total com ICMS (12%) e IPI (15%)</b>
1	1	CDC 10-PN-41	R\$ 142.900,04
2	1	CCMi 10-CM-41	R\$ 112.900,60
3	1	CCMi 10-CM-42	R\$ 79.192,08
4	1	CCMi 10-CM-43A	R\$ 188.429,08
5	1	CCMi 10-CM-43B	R\$ 195.557,47
6	1	CCMi 10-CM-44	R\$ 155.705,65
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 874.684,92</b>

Fonte: (produção do próprio autor)

Com a alteração das características dos painéis, eliminando os dispositivos que tornam o painel do tipo inteligente, a redução no custo de aquisição foi inferior a 10% do valor, cerca de 8,75%.

## 7. CONCLUSÃO

Em um cenário de crise é essencial a adaptação da indústria para tornar-se mais competitiva através da redução de custos e otimização de processos.

Por meio das referências consultadas, foi constatado que as indústrias têm a necessidade de manter sua planta sempre operante e para que isso ocorra é imprescindível que a instalação elétrica tenha um alto nível de confiabilidade, sem, no entanto, ameaçar a segurança dos usuários e operadores da instalação. Tal necessidade de manter o abastecimento de energia está intimamente ligada aos custos de uma indústria, pois a falta de energia significa máquinas paradas, com conseqüente perda de produção e prejuízos para a indústria.

Outro quesito de redução de custos relacionados à utilização de energia elétrica em uma indústria que teve destaque nesse trabalho foi à utilização da energia de acordo com as condições acordadas com a concessionária. Apresentam-se os modelos de tarifação industriais e foi constatado que é essencial que a instalação elétrica seja gerenciada para operar obedecendo às condições estabelecidas, pois em casos de descumprimento do contrato multas severas podem ser aplicadas. Ainda sobre esse tema apresenta-se o conceito do controle do fator de potência, que é de extrema importância para a instalação elétrica, pois consegue mensurar a eficiência de um sistema elétrico e um mau gerenciamento deste fator também pode resultar em penalidades para a indústria.

Ao longo deste trabalho é realizado um estudo sobre as diversas funções de um sistema de gerenciamento de energia e constata-se que para desempenhar satisfatoriamente tais funções atendendo às necessidades da indústria é necessário o uso de um sistema capaz de reagir rápida e automaticamente em casos de emergências e que forneça informações precisas aos operadores das instalações, que lhes possibilitem planejamento para prever as ações exigidas na instalação.

Esse sistema que incorpora medições, transmissão de dados e desempenha funções automaticamente são os painéis de baixa tensão inteligentes. Esse tipo de sistema pode servir de grande auxílio no gerenciamento de uma instalação elétrica.

De acordo com o que é apresentado no desenvolvimento do trabalho, os painéis inteligentes podem contribuir com a redução de custos com energia elétrica na indústria

principalmente fazendo com que a instalação elétrica opere dentro das normas estabelecidas pela concessionária de energia e não seja multada.

Baseado nas funções estudadas que um painel inteligente pode desempenhar automaticamente é constatado que esse tipo de sistema diminui a possibilidade de falta de energia elétrica na indústria, buscando fontes alternativas de abastecimento em casos de emergências e priorizando as cargas mais importantes para o funcionamento da indústria.

O estudo de caso mostra que o custo adicional para aquisição de um conjunto de painéis do tipo inteligente em relação ao mesmo conjunto de painéis desprovido de dispositivos de gerenciamento inteligentes e incapazes de manter uma comunicação de dados é relativamente baixo, inferiores a 10%.

Nesta análise não foram considerados os custos de instalação e manutenção que é superior para o sistema convencional nem o tempo de retorno do investimento no sistema inteligente. Supondo os custos operacionais e de manutenção, é provável que a diferença de investimento retorne em questão de meses.

A informação de que nos últimos anos a empresa que serviu de base para esse estudo aumentou exponencialmente as vendas de painéis do tipo inteligentes em relação às vendas de painéis convencionais, atingindo 100% das vendas exclusivamente em painéis inteligentes no último ano, confirma que as indústrias acreditam que o investimento em painéis de baixa tensão inteligentes é essencial para suas instalações elétricas e seu sistema produtivo.

## REFERÊNCIAS

- AES ELETROPAULO. Sistema de tarifação de energia. Disponível em <<https://www.aeseletpaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/sistema-de-tarifacao-de-energia>> Acesso em: 19 nov. 2014.
- ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60439-1: Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2003.
- BONNEFOI, Pascal. Introduction to dependability design. Cahier Technique Publications, n. 144, 1990.
- BOUJU, Olivier. Dependability and LV Switchboards. Cahier Technique Publications, n. 156, 1997.
- GATINE, Guy. High availability electrical power distribution. Cahier Technique Publications, n.148, 1991.
- JAMMES, Antoine. Intelligent LV Switchboards. Cahier Technique Publications, n. 186, 1997.
- ROCKWELL AUTOMATION. Controle Inteligente de Motor, 2007
- ROCKWELL AUTOMATION. Guia de seleção de centros de controle de motores CENTERLINE® 2500, 2010
- SCHNEIDER ELECTRIC. Eficiência energética e Acionamento de motores, apostila de Workshop, 2003.
- SCHNEIDER ELECTRIC. Painel de baixa tensão BLOKSET, 2009
- SIEMENS. Painel de Baixa Tensão Linha SIPLUX, 2011
- SIEMENS. Sirius gerenciamento de motores simocode pro. Apresentação, 2006
- WEG. Centros de controle de motores de baixa tensão, 2009

## **ANEXO A – Composição dos típicos dos painéis do Cliente I do tipo inteligente**









**ANEXO B – Composição dos típicos dos painéis do Cliente I do tipo**

Proposta: A&C2 CD DM 67,000/			3	2	1	1	1	2	1	3	2	1	2	1	9	6	4	2	2	2	1	6	1	1	4	6	3	6	1	5	1	2	4	2	5	=Qde		
Pos.	DESCRIÇÃO DE MATERIAL:		Entrada sem disjuntor - 1600A	Entrada disjuntores 800A intertravados	Entrada disjuntor 3200A Barra A	Entrada disjuntor 3200A Barra B	Acoplamento 3200A	Alimentador 800A Barra A	Alimentador 1600A Barra A	Alimentador 800A Barra B	Alimentador 1600A Barra B	Disj. LINK para acoplamento.	Alimentador 1,1KW/ 2A	Alimentador 5KW/ 10A	Alimentador 10KW/ 20A	Alimentador 17KW/ 30A	Alimentador 22KW/ 35A	Alimentador 24KW/ 40A	Alimentador 35KW/ 60A	Alimentador 45KW/ 70A	Alimentador 495KW/ 800A	PTDNR 1,1KW	PTDNR 2,2KW	PTDNR 3,7KW	PTDNR 5,5KW	PTDNR 7,5KW	PTDNR 11KW	PTDNR 18,5KW	PTDNR 22KW	PTDNR 37KW	PTDNR 45KW	PTDNR 55KW	PTDNR 75KW	SOFT STARTER 185KW	SOFT STARTER C/ BY PASS 200KW	total		
01	Disjuntor 3WL9 111-0BD03-0AA0 TAMANHO II	Icu/Ics = 50KA EM 690V										1																									1	
02	Disjuntor 3WL11 08-2FG37-5GM4-ZF 320 - 800A	Icu/Ics = 50KA EM 690V		2																																	4	
03	Disjuntor 3WL11 08-2FG37-5GM4-ZF 320 - 800A	Icu/Ics = 50KA EM 690V						1		1																											5	
04	Disjuntor 3WL11 16-2FG37-5GM4-ZF 640 - 1600A	Icu/Ics = 50KA EM 690V							1		1																										3	
05	Disjuntor 3WL12 32-3FG37-5GM4-ZF 1280 - 3200A	Icu/Ics = 80KA EM 690V			1	1	1																														3	
06	<b>GAVETA DE EXTRAÇÃO - ACB</b>				1																																1	
07	DISJ. 3WL - Gaveta de Extração para Disjuntor 1600A		1					1	1	1	1																										10	
08	DISJ. 3WL - Gaveta de Extração para Disjuntor 3200A			1	1	1																															3	
09	<b>SENSORES - ACB</b>			1																																	1	
10	DISJ. 3WL - Sensor tipo "FG" - disparadores de sobrecarga e curto circuito(LSING) - ETU45B		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
11	<b>ACESSÓRIOS - ACB</b>		1	1																																	3	
12	DISJ. 3WL - Acionamento manual/motorizado c/ carregamento de mola 110/220V - "56/58"		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
13	DISJ. 3WL - Bobina de mínima tensão "r" (subtensão) 110/220V - "3H/3K"		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
14	DISJ. 3WL - Bloco de Contatos auxiliares"4NAF"		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
15	DISJ. 3WL - Contatos p/ indicação de posição: em operação/teste/Extraído - "R15"		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
16	DISJ. 3WL - Bobina de desligamento - "HK"		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
17	DISJ. 3WL - Intertravamento mecânico p/ cabos		1	1	1	1																															5	
18	DISJ. 3WL - Cobertura para Câmara de Faisca		1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
19	Transformador interno para condutor neutro	3WL9 111-0AA12-0AA0	1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
20	DISJ. 3WL - Cobertura de vedação de plexigas, IP55	3WL9 111-0AP02-0AA0	1	1	1	1	1	1	1	1	1																										13	
21	Transformadores de tensão 480/100V Classe 0,5	3WL9 111-0BB64-0AA0		1	1	1	1	1	1	1	1																										11	
22	<b>DISJUNTORES 5SX</b>																				1																6	
23	Disjuntor 5SX2 104-7	Monopolar 4A		4																		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	55
24	Disjuntor 5SX2 202-7	Bipolar 2A																				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	94
25	<b>3VL - Proteção de Instalação</b>																				1																1	
26	Disjuntor 3VL67 80-2AE36-0AA0	320 - 800A Icu/Ics = 50KA EM 500V																			1																1	
27	<b>3VL - Proteção de Motores</b>																																				2	
28	Disjuntor 3VL27 16-2DK33-0AA0	64 - 160A Icu/Ics = 50KA EM 500V																																			6	
29	Disjuntor 3VL47 31-2DK36-0AA0	160 - 400A Icu/Ics = 50KA EM 500V																																			2	
30	Disjuntor 3VL57 50-2DK36-0AA0	252 - 630A Icu/Ics = 50KA EM 500V																																			5	
31	<b>Acessórios para disjuntores 3VL17/27/37</b>																																				2	
32	Bloco de contatos auxiliares (1NA + 1NF) - 3VL17/27/37	3VL9400-2AD00																																			6	
33	Acionamento rotativo externo - 3VL17/27/37	3VL9300-3HF04																																			6	
34	<b>Acessórios para disjuntores 3VL47</b>																																				2	
35	contatos auxiliares 1NA+1NF + 1NA(AL) - 3VL47	3VL9400-2AD00																																			2	
36	Acionamento rotativo externo - 3VL47	3VL9400-3HF04																																			2	







**ANEXO C — Tabela de coordenação tipo 2 para partida direta coordenada com disjuntor**

# Partida direta

## coordenada com disjuntor

- Destina-se a máquinas que partem em vazio ou com carga.
- Partidas normais (< 10 s). Para partidas prolongadas (pesadas) deve-se ajustar as especificações do contator, relé de sobrecarga, condutores, etc.
- Coordenação: tipo 2 - IEC 60 947-4 (corrente presumida de curto-circuito 50 kA / 500 VCA).
- Relé de sobrecarga: ajustar para a corrente de serviço (nominal do motor).

Tabela de escolha				Disjuntor <sup>1)</sup>		Contator <sup>2)</sup>		Relé de sobrecarga	
Motores trifásicos Potências máximas AC-2 / AC-3, 60 Hz em			Corrente nominal máxima (A)	Q1	Ajuste (A)	K1	F1	Faixa de ajuste (A)	
220 V (cv / kW)	380 V (cv / kW)	440 V (cv / kW)							
-	0,16 / 0,12	0,16 / 0,12	0,5	3RV13 21-0FC10 3RV10 21-0GA10 <sup>3)</sup>	-	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-0FB0	0,35 - 0,5	
-	-	0,25 / 0,18	0,6	3RV13 21-0GC10 3RV10 21-0HA10 <sup>3)</sup>	0,45 - 0,63	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-0FB0	0,35 - 0,5	
0,16 / 0,12	0,25 / 0,18	0,33 / 0,25	0,8	3RV13 21-0HC10 3RV10 21-0JA10 <sup>3)</sup>	0,55 - 0,8	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-0GB0	0,45 - 0,63	
-	0,33 / 0,25	-	0,9	3RV13 21-0JC10 3RV10 21-0KA10 <sup>3)</sup>	0,7 - 1	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-0HB0	0,55 - 0,8	
0,25 / 0,18	0,5 / 0,37	0,5 / 0,37	1,2	3RV13 21-0KC10 3RV10 21-1AA10 <sup>3)</sup>	0,9 - 1,25	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-0JB0	0,7 - 1	
0,33 / 0,25	0,75 / 0,55	0,75 / 0,55 1 / 0,75	1,6	3RV13 21-1AC10 3RV10 21-1BA10 <sup>3)</sup>	1,1 - 1,6	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-0KB0	0,9 - 1,25	
-	1 / 0,75	-	2	3RV13 21-1BC10 3RV10 21-1DA10 <sup>3)</sup>	1,4 - 2	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-1AB0	1,1 - 1,6	
0,5 / 0,37	-	-	2,4	3RV13 21-1CC10 3RV10 21-1DA10 <sup>3)</sup>	2,2 - 3,2	3RT10 15-1A□□1	3RU11 16-1BB0	1,4 - 2	
-	-	1,5 / 1,1	2,4	3RV13 21-1CC10 3RV10 21-1DA10 <sup>3)</sup>	2,2 - 3,2	3RT10 24-1A□□0	3RU11 26-1CB0	1,8 - 2,5	
0,75 / 0,55	1,5 / 1,1	-	3	3RV13 21-1CC10 3RV10 21-1DA10 <sup>3)</sup>	2,2 - 3,2	3RT10 26-1A□□0	3RU11 26-1CB0	1,8 - 2,5	
-	-	2 / 1,5	3	3RV13 21-1DC10 3RV10 21-1EA10 <sup>3)</sup>	2,8 - 4	3RT10 24-1A□□0	3RU11 26-1DB0	2,2 - 3,2	
1 / 0,75	2 / 1,5	-	4	3RV13 21-1DC10 3RV10 21-1EA10 <sup>3)</sup>	2,8 - 4	3RT10 34-1A□□0	3RU11 26-1DB0	2,2 - 3,2	
1,5 / 1,1	3 / 2,2	-	5	3RV13 21-1EC10 3RV10 21-1FA10 <sup>3)</sup>	3,5 - 5	3RT10 24-1A□□0	3RU11 26-1EB0	2,8 - 4	
-	-	3 / 2,2 4 / 3	5,8	3RV13 21-1GC10 3RV10 21-1GA10 <sup>3)</sup>	4,5 - 6,3	3RT10 24-1A□□0	3RU11 26-1FB0	3,5 - 5	
2 / 1,5	4 / 3	-	7	3RV13 21-1HC10 3RV10 21-1JA10 <sup>3)</sup>	5,5 - 8	3RT10 34-1A□□0	3RU11 26-1GB0	4,5 - 6,3	
-	-	5 / 3,7	7	3RV13 21-1HC10 3RV10 21-1JA10 <sup>3)</sup>	7 - 10	3RT10 25-1A□□0	3RU11 26-1HB0	5,5 - 8	
3 / 2,2	5 / 3,7	-	9	3RV13 21-1JC10 3RV10 21-1KA10 <sup>3)</sup>	7 - 10	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-1HB0	5,5 - 8	
-	-	6 / 4,5	9	3RV13 21-1JC10 3RV10 21-1KA10 <sup>3)</sup>	9 - 12,5	3RT10 26-1A□□0	3RU11 26-1JB0	7 - 10	
4 / 3	6 / 4,5	-	12	3RV13 21-1KC10 3RV10 21-1KA10 <sup>3)</sup>	9 - 12,5	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-1JB0	7 - 10	
-	7,5 / 5,5	7,5 / 5,5	10	3RV13 21-1KC10 3RV10 21-1KA10 <sup>3)</sup>	11 - 16	3RT10 26-1A□□0	3RU11 26-1KB0	9 - 12,5	
5 / 3,7 6 / 4,5	10 / 7,5	-	16	3RV13 21-1KC10 3RV10 21-1KA10 <sup>3)</sup>	11 - 16	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-1KB0	9 - 12,5	
-	-	10 / 7,5 12,5 / 9	16	3RV13 21-1BC10 3RV10 21-1BA10 <sup>3)</sup>	14 - 20	3RT10 26-1A□□0	3RU11 26-4AB0	11 - 16	
-	12,5 / 9	15 / 11	19	3RV13 21-1BC10 3RV10 21-1BA10 <sup>3)</sup>	14 - 20	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-4AB0	11 - 16	
7,5 / 5,5	15 / 11	-	25	3RV13 31-4DC10 3RV10 31-4EA10 <sup>3)</sup>	18 - 25	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-4BB0	14 - 20	
10 / 7,5 12,5 / 9 15 / 11	20 / 15	20 / 15 25 / 18,5	32	3RV13 31-4DC10 3RV10 31-4EA10 <sup>3)</sup>	22 - 32	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-4DB0	18 - 25	
-	25 / 18,5	30 / 22	40	3RV13 31-4FC10 3RV10 31-4GA10 <sup>3)</sup>	28 - 40	3RT10 34-1A□□0	3RU11 36-4EB0	22 - 32	
-	30 / 22	40 / 30	50	3RV13 31-4FC10 3RV10 31-4GA10 <sup>3)</sup>	36 - 45	3RT10 35-1A□□0	3RU11 36-4FB0	28 - 40	
20 / 15	40 / 30	50 / 37	63	3RV13 41-4JC10 3RV10 41-4JA10 <sup>3)</sup>	45 - 63	3RT10 36-1A□□0	3RU11 36-4HB0	40 - 50	
25 / 18,5 30 / 22	50 / 37	60 / 45	75	3RV13 41-4JC10 3RV10 41-4JA10 <sup>3)</sup>	57 - 75	3RT10 44-1A□□0	3RU11 46-4JB0	45 - 63	
-	60 / 45	-	85	3RV13 41-4KC10 3RV10 41-4LA10 <sup>3)</sup>	70 - 90	3RT10 45-1A□□0	3RU11 46-4KB0	57 - 75	
40 / 30	75 / 55	-	115	3RV13 41-4LC10 3RV10 41-4LA10 <sup>3)</sup>	70 - 90	3RT10 46-1A□□0	3RU11 46-4LB0	70 - 90	
-	-	75 / 55	90	3VL27 16-2DK33-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL27 16-3DK33-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 54-1□□36	3RB20 56-1FC2	50 - 200	
60 / 45	100 / 75	-	148	3VL27 16-2DK33-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL27 16-3DK33-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 56-6□□36	3RB20 56-1FC2	50 - 200	
-	-	125 / 90	180	3VL37 25-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL37 25-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 56-6□□36	3RB20 56-1FC2	50 - 200	
75 / 55	125 / 90	-	180	3VL37 25-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL37 25-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 64-6□□36	3RB20 56-1FC2	50 - 200	
-	-	150 / 110	220	3VL37 25-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL37 25-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 64-6□□36	3RB20 56-1FC2	50 - 200	
75 / 55	150 / 110	-	215	3VL37 25-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL37 25-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 65-6□□36	3RB20 66-1GC2	55 - 250	
-	-	175 / 132	245	3VL47 31-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL47 31-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 65-6□□36	3RB20 66-1GC2	55 - 250	
100 / 75	175 / 132	-	240	3VL47 31-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL47 31-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 66-6□□36	3RB20 66-1GC2	55 - 250	
125 / 90	200 / 150	-	294	3VL47 31-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL47 31-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 66-6□□36	3RB20 66-1GC2	55 - 250	
-	-	250 / 185	294	3VL47 31-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL47 31-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 66-6□□36	3RB20 66-1MC2	160 - 630	
150 / 110	270 / 200	-	370	3VL57 50-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL57 50-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 75-6□□36	3RB20 66-1MC2	160 - 630	
-	-	300 / 220	350	3VL57 50-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL57 50-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 75-6□□36	3RB20 66-1MC2	160 - 630	
200 / 150	350 / 260	-	470	3VL57 50-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL57 50-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 76-6□□36	3RB20 66-1MC2	160 - 630	
-	-	400 / 300	470	3VL57 50-2DK36-0AA0 <sup>4)</sup> 3VL57 50-3DK36-0AA0 <sup>4)</sup>	-	3RT10 76-6□□36	3RB20 66-1MC2	160 - 630	

- 1) Elemento de interligação do disjuntor 3RV10 com contator 3RT10, assim como, acionamento rotativo externo para disjuntor, consulte catálogos dos produtos.
- 2) Para complementar o tipo (□□) para a tensão e frequência de comando, consultar catálogo dos produtos.
- 3) Para garantir a operação dos relés de sobrecarga 3RU11, ajustar os disjuntores 3RV10 no fundo da faixa de ajuste.
- 4) Acionamento rotativo externo do disjuntor, consulte catálogo do produto.