

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
Curso de Engenharia Elétrica

DIEGO HENRIQUE DA SILVA FERNANDEZ

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE
PRODUÇÃO INDUSTRIAL ATRAVÉS DO CONTROLE E
ATUAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO**

Itatiba
2012

DIEGO HENRIQUE DA SILVA FERNANDEZ – R.A. 002200800622

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE
PRODUÇÃO INDUSTRIAL ATRAVÉS DO CONTROLE E
ATUAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. D.r Geraldo Peres Caixeta

Itatiba
2012

DIEGO HENRIQUE DA SILVA FERNANDEZ – R.A. 002200800622

**AUMENTO DE PRODUTIVIDADE EM UMA LINHA DE
PRODUÇÃO INDUSTRIAL ATRAVÉS DO CONTROLE E
ATUAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO**

Monografia aprovada pelo Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de aprovação: ___/___/___

Banca Examinadora:

Prof. D.r Geraldo Peres Caixeta (Orientador)

Universidade São Francisco

Prof. M.e Renato Franco de Camargo (Examinador)

Universidade São Francisco

Prof. M.e Paulo Eduardo Silveira (Examinador)

Universidade São Francisco

*Para minha esposa Karen, meu
filho João Miguel e minha mãe Maraiva.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que dentre tantos bens que me proporciona, um deles foi o privilégio de cursar o Ensino Superior, realizando mais um sonho em minha vida.

Agradeço imensamente a minha esposa Karen, que me apoiou no decorrer de todo o curso e tem sido companheira em todo esse tempo que estamos juntos. Sou-lhe grato por diversas vezes em que me aconselhou e estimulou para atingir o objetivo, pela revisão do texto final e pela capacidade de fazer-me feliz. Incluo também meu filho João Miguel, que com sua chegada em minha vida, proporcionou-me energias positivas para atingir este objetivo.

Agradeço a minha mãe Maraiva, pessoa base de minha vida, que sempre esteve ao meu lado, que nunca desistiu de me oferecer condições para que pudesse estudar. Para a realização deste sonho, foi grande a sua contribuição.

Agradeço a todos os professores da Universidade São Francisco, ao professor Renato Franco de Camargo, Coordenador do curso de Engenharia Elétrica e, em especial, ao professor Geraldo Peres Caixeta, meu orientador, que prestou o suporte necessário para elaboração deste trabalho.

Finalmente agradeço aos meus companheiros de trabalho da Procter & Gamble que participaram deste projeto, que tornou realidade devido ao envolvimento e comprometimento de todos.

RESUMO

O mercado infantil tem crescido muito, e os consumidores buscam produtos que atendam suas necessidades e com baixo custo. Diante deste cenário, a Procter & Gamble trocou suas linhas de produção de fraldas descartáveis por linhas modernas, para atender a demanda deste mercado. No entanto, ocorreu um problema em um dos processos das linhas de produção, ocasionando perda de produtividade. O mesmo estava relacionado à geração de vácuo para o processo de transferência de uma matéria-prima. Baseado nisto, o objetivo deste projeto foi encontrar a causa raiz do problema, através da análise e estudo do processo afetado e, encontrada a causa raiz, realizar as modificações necessárias na linha de produção para solução definitiva. Para isso, foi realizado o estudo da geração do vácuo por bombas para compreender seu princípio de funcionamento, o que induziu a estudar e analisar o funcionamento de um motor de indução trifásico, devido ao modelo de bomba utilizado na linha de produção. Desta forma, foi encontrada a causa raiz do problema e elaborada uma proposta para resolução do mesmo. Esta proposta foi a instalação de um inversor de frequência. Para realizar a instalação, foi elaborado o projeto e implantado, em fases de testes, em uma das linhas de produção. O resultado do projeto foi extremamente positivo, resolvendo o problema e eliminando a perda. Finalizando, após a validação do projeto, foi desenvolvido o projeto definitivo e elaborada toda a documentação para reaplicação nas demais linhas de produção.

Palavras-chave: motor de indução trifásico. inversor de frequência. bomba de vácuo.

ABSTRACT

The childlike market has been growing very much, and the consumers look for products that attend his necessities and with low cost. Before this scenery, the Procter and Gamble exchanged his lines of production of disposable shirt tails for modern lines, to attend the demand of this market. However, a problem took place in one of the processes of the lines of production, causing loss of productivity. The same thing was made a list to the generation of vacuum for the process of transfer from a raw material. Based on this, the objective of this project found the cause root of the problem, through the analysis and study of the affected process and, when the cause root was found, he carried out the necessary modifications in the line of production for definite solution. For that, there was carried out the study of the generation of the vacuum by pumps to understand his beginning of functioning, which it induced studying and analysing the functioning of a three-phase motor of induction, due to the model of pump used in the line of production. In this way, there was found the cause root of the problem and when a proposal was prepared for resolution of the same thing. This proposal went to installation of an frequency inverter. To carry out the installation, the project was prepared and introduced, in phases of tests, in one of the lines of production. The result of the project was extremely positive, resolving the problem and removing the loss. Finishing, after the validation of the project, the project definite was developed and when too many lines of production prepared the whole documentation for reapplication in.

Key words: three-phase motor of induction. frequency inverter. vacuum pump.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Linha de produção de fraldas.....	2
FIGURA 2 – Bomba de vácuo utilizada.....	4
FIGURA 3 – Características da bomba de vácuo.....	5
FIGURA 4 – Bomba de vácuo de canal lateral.....	9
FIGURA 5 – Motor de indução trifásico em corte parcial.....	10
FIGURA 6 – Estator com ranhuras de ferro-silício.....	11
FIGURA 7 – Rotor em gaiola de esquilo.....	11
FIGURA 8 – Ranhuras inclinadas no rotor.....	12
FIGURA 9A– Conexão da rede elétrica trifásica.....	13
FIGURA 9B – Carcaça, polos e rotor.....	13
FIGURA 9C – Onda trifásica.....	13
FIGURA 10 – Caminho da corrente elétrica em 1 ciclo.....	15
FIGURA 11 – Desempenho: capacidade de sucção x pressão diferencial.....	18
FIGURA 12 – Desempenho: potência no eixo da bomba x pressão diferencial.....	19
FIGURA 13 – Desempenho: temperatura da bomba x pressão diferencial.....	19
FIGURA 14 – Tipos de variadores de frequência estáticos.....	20
FIGURA 15 – Cicloconversor.....	21
FIGURA 16 – Configuração básica de um inversor de frequência.....	23
FIGURA 17 – Variação de tensão e torque em função da frequência.....	24
FIGURA 18 – Inversor de frequência PowerFlex 70 AC Drive.....	28
FIGURA 19 – Inversor de frequência PF70 (fase de testes).....	31
FIGURA 20A – Disjuntor PKZM4-63.....	33
FIGURA 20B – Contator DILM65 (RDC24).....	34
FIGURA 21 – Cabo modelo 280804CY.....	34
FIGURA 22 – Padrão de aterramento PF70.....	35
FIGURA 23 – Adaptador ControlNet 20-COMM-C.....	36
FIGURA 24 – Interface do software DriveExecutive.....	37
FIGURA 25 – PLC Controllogix, da Allen Bradley.....	38
FIGURA 26 – Interface do software RSLogix 5000.....	39
FIGURA 27 – Instalação definitiva do inversor PF70.....	40
FIGURA 28 – Documento para padronização das alterações no software.....	41

FIGURA 29 – Documento para padronização das alterações na construção	42
FIGURA 30 – Parametrização do PowerFlex 70 e do adaptador ControlNet.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Relação dos problemas ocorridos nas plantas da América Latina	5
TABELA 2 – Parâmetros alterados para instalação do inversor (fase de testes)	30
TABELA 3 – Medições realizadas na bomba de vácuo (fase de testes)	32
TABELA 4 – Parâmetro alterado do inversor (referência de velocidade)	37
TABELA 5 – Parâmetro alterado do adaptador (endereço na rede)	37

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – Cálculo de rotação síncrona	14
EQUAÇÃO 2 – Cálculo de rotação assíncrona.....	15
EQUAÇÃO 3 – Cálculo do escorregamento.....	15

LISTA DE ABREVIATURAS

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
- FEA – Faculdade de Economia e Administração
- USP – Universidade de São Paulo
- P&G – Procter & Gamble
- PPM – Pads per Minute
- MTBF – Mean Time Between Failures (Tempo Médio Entre Falhas)
- PR – Productivity (produtividade)
- RPM – Rotações por minuto
- MIT – Motor de indução trifásico
- CA – Corrente alternada
- CC – Corrente contínua
- PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)
- DC – Direct Current (Corrente Contínua)
- IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor (Transistor Bipolar de Porta Isolada)
- PF70 – PowerFlex 70
- IHM – Interface Homem-Máquina
- CIP – Common Industrial Protocol (Protocolo Industrial Comum)
- EMC – Electromagnetic Compatibility (Compatibilidade Eletromagnética)
- PTC - Positive Temperature Coefficient (Coeficiente positivo de temperatura)
- PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programável)
- SFC – Sequential Function Chart (Sequência de Gráficos Funcionais)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Metodologia.....	2
1.2 Estrutura do Trabalho	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Cenário Atual.....	4
2.2 Teoria envolvida	5
2.2.1 Vácuo.....	6
2.2.1.1 As primeiras tentativas para produzir vácuo	6
2.2.1.2 Bombas de vácuo.....	7
2.2.1.3 Bombas de transferência de impulso	8
2.2.1.4 Análise do estudo sobre a bomba de vácuo	9
2.2.2 Motor elétrico de indução trifásico.....	9
2.2.2.1 Componentes do motor.....	11
2.2.2.2 Princípio de funcionamento.....	12
2.2.2.3 Principais características.....	14
2.2.2.3.1 Velocidade síncrona	14
2.2.2.3.2 Velocidade assíncrona	15
2.2.2.3.3 Escorregamento	15
2.2.2.3.4 Alta corrente de partida	16
2.2.2.4 Análise do estudo sobre o MIT	17
2.2.3 Bomba de vácuo modelo 2BH1910-7HH27.....	17
2.2.4 Variadores de frequência para motores de indução trifásicos	20
2.2.4.1 Cicloconversor.....	21
2.2.4.2 Conversores de frequência indiretos.....	21
2.2.4.2.1 Funcionamento básico de um inversor de frequência	22
2.2.4.2.2 Configuração básica de um inversor de frequência.....	22
2.2.4.2.3 Diferenças e vantagens dos inversores de frequência	23
2.2.4.2.4 Classificação dos inversores de frequência	24
2.2.4.3 Análise do estudo sobre inversores de frequência.....	25
3 PROJETO	26
3.1 Inversor de Frequência	26

3.1.1 Definição do modelo do inversor de frequência.....	26
3.1.2 Desenvolvimento da parametrização do inversor de frequência	29
3.1.4 Instalação do inversor de frequência para testes	30
3.2 Desenvolvimento e Execução das Alterações para Instalação Definitiva do Inversor de Frequência	32
3.2.1 Rede de alimentação elétrica	33
3.2.2 Fusíveis, disjuntores e contadores	33
3.2.3 Cabos	34
3.2.4 Aterramento	35
3.2.5 Comunicação serial.....	35
3.2.6 Parametrização.....	36
3.2.7 Software para configuração/diagnóstico do inversor de frequência.....	37
3.2.8 Alterações no programa do PLC	38
3.3 Instalação Definitiva.....	39
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A cada ano, aumenta o número de consumidores que buscam produtos que atendam suas necessidades e com baixo custo. Esse fenômeno também se aplica no mercado infantil, que cresce em ritmo acelerado no Brasil. Segundo dados do Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, crianças de 0 a 14 anos representam quase 46 milhões de brasileiros, ou seja, aproximadamente 24% da população do país. Um estudo realizado em 2006 pela Faculdade de Economia e Administração (FEA) da Universidade de São Paulo (USP), indicou um crescimento de 14% ao ano do mercado infantil, sendo este o dobro do verificado no mercado destinado para adultos.

A Latin Panel realizou um recente estudo que detectou que lares com crianças até cinco anos gastam com higiene pessoal aproximadamente 10% mais do que o restante da população, consumindo principalmente fraldas, shampoos, sabonetes e colônias. Essas famílias vão 11% mais vezes ao ponto de venda e gastam 14% a mais que a média da população.

De acordo com a ACNielsen, aproximadamente 40% das compras em supermercados são influenciadas pelos filhos. Os pais estão gastando com os filhos como nunca gastaram. Segundo a consultoria, as fraldas descartáveis infantis, produto que é o carro-chefe da seção de produtos infantis, vem crescendo à média de 15% nos últimos cinco anos. No acumulado de 2006 até outubro de 2011, o crescimento do segmento foi de mais de 60% em volume e 15% em faturamento. Estes resultados ocorreram devido ao aumento do poder aquisitivo das classes populares, a redução do custo unitário e as inovações em produtos e embalagens.

Com um mercado tão favorável e com perspectivas de grande evolução, a Procter & Gamble do Brasil (P&G), fabricante das fraldas Pampers, líder no mercado de fralda descartável infantil com 33% de participação, segundo resultados de pesquisa realizada pelo Instituto Datafolha em 2011, trocou suas linhas de produção por outras modernizadas (FIGURA 1), com novas tecnologias, para poder atender a demanda do mercado e também a qualidade exigida pelo consumidor. Com esse investimento, a empresa visou o aumento da produtividade, pois as novas linhas produzem uma quantidade de fraldas por minuto (*pads per minute – ppm*) maior do que as antigas, passando de 800 ppm para 950 ppm. Além disso, o controle de qualidade do produto é em parte automatizado, diminuindo assim a perda por produtos defeituosos.



FIGURA 1 – Linha de produção de fraldas

No entanto, ocorre um problema nas novas linhas de produção, sendo que em uma parte do processo de produção das fraldas acontece uma instabilidade muito grande, que ocasiona perda de produtividade devido ao número de paradas da máquina e produção acentuada de produtos defeituosos. Os resultados que antes eram alcançados, MTBF (tempo médio de linha rodando entre as paradas) e PR (total de produção), não são mais atingidos.

O objetivo geral do projeto é realizar as modificações necessárias na máquina (linha de produção) para solução do problema, documentar e padronizar a solução encontrada.

Como objetivos específicos, a meta é encontrar a causa raiz do problema, através da análise e estudo do processo afetado e, como resultado, elaborar e implementar a solução adequada. Sendo assim, será possível restabelecer a eficiência da máquina nesta parte do processo.

1.1 Metodologia

O projeto foi desenvolvido de acordo com os seguintes passos:

- a. Análise do problema em questão;
- b. Estudo teórico dos processos e equipamentos envolvidos;
- c. Proposta de solução para o problema baseado na estudo teórico realizado;
- d. Definição do modelo do inversor de frequência a ser utilizado;
- e. Desenvolvimento da parametrização do inversor de frequência;
- f. Instalação do inversor de frequência para testes;
- g. Validação do inversor de frequência como solução para o problema;
- h. Desenvolvimento das alterações para instalação definitiva do inversor de frequência;
- i. Desenvolvimento da documentação para padronização e reaplicação da instalação do inversor de frequência nas demais linhas de produção.

1.2 Estrutura do Trabalho

No início do trabalho é apresentado o problema que ocorre no processo em estudo, indicando o equipamento que ocasiona a instabilidade do processo devido ao seu mau funcionamento.

Em seguida é apresentada uma explicação sobre o princípio de funcionamento deste equipamento, sendo que este estudo proporcionou encontrar a causa raiz da instabilidade do processo. Este capítulo também contém a proposta para a solução do problema, baseada no estudo do princípio de funcionamento do equipamento a ser instalado.

Concluindo, tem-se o projeto em si, com a instalação, a princípio para testes, do equipamento proposto e, após a averiguação de sua funcionalidade, o desenvolvimento de todas as alterações necessárias para a instalação definitiva do mesmo, incluindo toda a documentação para a padronização e reaplicação nas demais linhas de produção que apresentaram o mesmo problema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cenário Atual

Existem atualmente na empresa Procter & Gamble na planta de Louveira, linhas de produção de fraldas modernas, com tecnologias avançadas, que proporcionam a produção de fraldas descartáveis que atendem a demanda do mercado e também a qualidade exigida pelo consumidor. Essas linhas de produção são capazes de produzir 950 fraldas por minuto, mantendo o controle de qualidade do produto por sistemas automatizados.

Em determinado ponto do processo de produção, existe a necessidade de transportar uma determinada matéria prima de um local até outro, após o corte perfilado da mesma. Para isso, é utilizado vácuo para manter a matéria prima posicionada corretamente sobre a superfície do equipamento que realiza este transporte. Esse vácuo é gerado por uma bomba pertencente à linha de produção, conforme a FIGURA 2.



FIGURA 2 – Bomba de vácuo utilizada

Na FIGURA 3 pode-se visualizar as características da bomba de vácuo.

Order No.	Motor (IP55)			Weight approx.	Sound-pressure level	
	Frequency	rated				
		output	voltage			current
Hz	kW	V	A	kg	dB(A)	
2BH1 910-7HH27	50	16,5	345-415 Δ / 600-720Y	35,0 Δ / 20,0 Y	295	74
	60	19,0	380-480 Δ / 660-720Y	36,5 Δ / 21,0 Y		84

FIGURA 3 – Características da bomba de vácuo

Fonte: http://www.gd-elmorietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content_G/DaBIFC/2BH1910_FC_en.pdf

Ocorre que o processo apresenta instabilidade, sendo que a matéria prima não permanece no posicionamento desejado, devido ao vácuo fornecido pela bomba ser insuficiente. A pressão diferencial estipulada como necessária para a estabilidade do processo é de -450 mbar, em pressão de gauge.

Como medida para solucionar este problema, o vácuo foi aumentado, utilizando-se de válvulas de controle para diminuir em determinados pontos o diâmetro da tubulação por onde ocorre o fluxo do vácuo. Em consequência disto, o motor da bomba de vácuo passou a queimar, devido à sobrecarga no mesmo.

Este mesmo problema ocorreu em outras plantas da empresa na América Latina, mas não ocorre em plantas da Europa, onde foi desenvolvido o projeto destas linhas de produção. Constam na TABELA 1 a relação dos problemas ocorridos em todas as plantas.

TABELA 1 – Relação dos problemas ocorridos nas plantas da América Latina

Planta	País	Linha	Evento
Materiales	Peru	PR01	Sobrecorrente na bomba de vácuo
Louveira	Brasil	LV10	Queimou o motor da bomba de vácuo
Louveira	Brasil	LV11	Queimou o motor da bomba de vácuo
Santiago	Chile	Linha 06	Queimou o motor da bomba de vácuo
Materiales	Peru	PR01	Disjuntor do motor da bomba de vácuo desarmando. Corrente em 26 A.
Louveira	Brasil	LV10	Queimou o motor da bomba de vácuo
Guatire	Venezuela	Linha 03	Queimou o motor da bomba de vácuo

2.2 Teoria envolvida

Para poder encontrar a causa raiz do problema, é fundamental conhecer as características da bomba de vácuo utilizada, como por exemplo, qual é o seu modelo, seu

princípio de funcionamento, etc. A seguir segue o estudo de toda teoria a respeito deste processo de produção de vácuo.

2.2.1 Vácuo

A palavra vácuo é utilizada em nosso cotidiano, sendo que possui diferentes sentidos na linguagem: vazio, vazio de poder, falta de alguma coisa, etc.. Em um dicionário, o vácuo é definido como *um lugar onde não contém nada*. Num segundo sentido o dicionário relata *espaço imaginário ou real não ocupado por coisa alguma*. Vácuo seria o vazio perfeito.

Vácuo é um tema que, desde que o homem passou a indagar sobre o mundo que o rodeia, tem fascinado filósofos e cientistas. Desde Aristóteles, tem-se que o vácuo, significando um espaço vazio, é impossível de ocorrer. Esta ideia foi aceita desde os tempos de Aristóteles até o século XVII, quando Torricelli realizou sua experiência de emborcar um tubo cheio de mercúrio em um recipiente também com mercúrio, e observou a sustentação de uma coluna de aproximadamente 76 cm. Esta experiência mostrou, pela primeira vez, que poderia existir um espaço “vazio” acima da coluna de mercúrio.

A partir da revolução científica e tecnológica iniciada por Torricelli, passaram-se aproximadamente 350 anos de desenvolvimentos marcantes nesta área, sendo que atualmente a tecnologia de vácuo é imprescindível à ciência e tecnologia moderna. Darei sequência ao trabalho com um breve histórico dos principais desenvolvimentos da ciência e da tecnologia do vácuo, desde Torricelli até os dias atuais, abordando a tecnologia de produção de vácuo utilizada no processo estudado na linha de produção de fraldas.

2.2.1.1 As primeiras tentativas para produzir vácuo

As primeiras tentativas para produzir vácuo ocorreram através dos trabalhos de Torricelli, sendo que ele estabeleceu uma técnica metrológica para medir a pressão atmosférica, construindo assim o primeiro barômetro.

Como dito anteriormente, o barômetro de Torricelli consiste de um tubo fechado em uma de suas extremidades o qual é cheio de mercúrio. A extremidade aberta é momentaneamente fechada e o tubo é emborcado com essa extremidade em um recipiente

com mercúrio. Dessa forma, o nível de mercúrio abaixa, até chegar a aproximadamente 76 cm entre o nível de mercúrio do recipiente e o do tubo. Isso nos leva a interpretar que a pressão atmosférica sobre a superfície livre equilibra a coluna de mercúrio.

Quanto menor a pressão atmosférica, menor o tamanho da coluna, conforme Blaise Pascal verificou ao medir a pressão atmosférica na base e no pico de uma montanha.

Mas como dizer que a experiência de Torricelli com o seu barômetro foi a primeira técnica para produzir vácuo artificialmente?

Isso ocorre porque o mercúrio desceu desde a extremidade fechada do tubo até chegar ao ponto de equilíbrio, a 76 cm. O espaço entre a extremidade fechada e o mercúrio não contém quase nenhuma matéria, pois ainda existe certa quantidade de vapor de mercúrio que cria uma pequena pressão. Em todo caso, a pressão nessa região é um vácuo parcial. Trata-se então de uma técnica para produção de vácuo.

Dessa forma, nota-se que falar em tecnologia de produção de vácuo não se trata de um vácuo absoluto, o que é impossível, mas sim em reduzir a pressão em determinado ambiente a um valor menor que a pressão atmosférica.

2.2.1.2 Bombas de vácuo

As experiências de Torricelli e Pascal mostraram a importância da pressão atmosférica e a possibilidade de se controlar a pressão do ar em um recipiente.

Com a intenção de reduzir a densidade molecular em um recipiente, ou seja, a pressão, é necessário retirar as moléculas de gás do mesmo. Isso é feito pelas chamadas bombas de vácuo.

De modo geral, as bombas de vácuo são classificadas em dois grupos. O primeiro grupo consiste em:

- Bombas de transferência: são bombas que transportam o gás do recipiente para a atmosfera ou para outras bombas com pressões maiores que as de sua entrada. Este grupo de bombas pode ser dividido em três tipos:
 1. Bombas que atuam criando volumes de câmaras que periodicamente crescem e decrescem (ou expandem e comprimem). Exemplos: bombas de pistão, de membrana, entre outros tipos.

2. Bombas cujo volume interno é fixo e que de algum modo transferem o gás da região de baixa pressão para a de alta pressão (compressão, arraste molecular). Exemplos: bombas Roots e as turbomoleculares.
3. Bombas em que o bombeamento se dá por arraste, por viscosidade ou por difusão. Exemplos: bombas ejetoras de vapor e bombas difusoras.

O segundo grupo consiste em:

- Bombas de aprisionamento: são bombas que retiram as moléculas do recipiente prendendo-as em suas paredes por processos físicos ou químicos. Podem ser divididas em dois tipos:
 1. Bombas que aprisionam o gás permanentemente por processos físico-químicos, como nas bombas iônicas e de aprisionamento químico (getters).
 2. Bombas que aprisionam o gás enquanto certa condição física é mantida (em geral, temperatura baixa), como acontece nas bombas por adsorção e nas criogênicas.

A bomba de vácuo utilizada na linha de produção de fraldas e que é abordada neste projeto é do fabricante Nash Elmo Rietschle Industries. O modelo da bomba de vácuo é o 2BH1910-7HH27. Dos grupos de bombas de vácuo existentes, esse modelo faz parte do grupo de bombas de transferência, sendo do tipo compressão. Vamos entender como funcionam as bombas deste grupo e tipo.

2.2.1.3 Bombas de transferência de impulso

Na transferência de impulso, uma câmara possui dois lados: um lado de vácuo e um de escape. O lado do vácuo é onde o mesmo é criado e o lado de escape é onde as moléculas do gás são expelidas da câmara. A transferência de impulso envolve a criação de uma bomba volumétrica para criar um vácuo suave na câmara. Quando isso ocorre, as moléculas de gás são empurradas para os lados da câmara.

O modelo 2BH1910-7HH27 é uma bomba de canal lateral, e o seu princípio de funcionamento é bastante simples: as bombas de vácuo de canal lateral aspiram ar ou gás e o puxam para ingressar no interior do canal lateral. Ao rolar o rotor que se encontra acoplado

diretamente ao eixo do motor, as palhetas puxam o gás para frente e para fora pela força centrífuga, formando uma série de redemoinhos. O ar aspirado está obrigado a seguir um percurso em espiral e submetido a repetidas acelerações incrementadas à pressão diferenciada do fluido transportado através do ventilador.

A FIGURA 4 mostra uma bomba de vácuo de canal lateral.

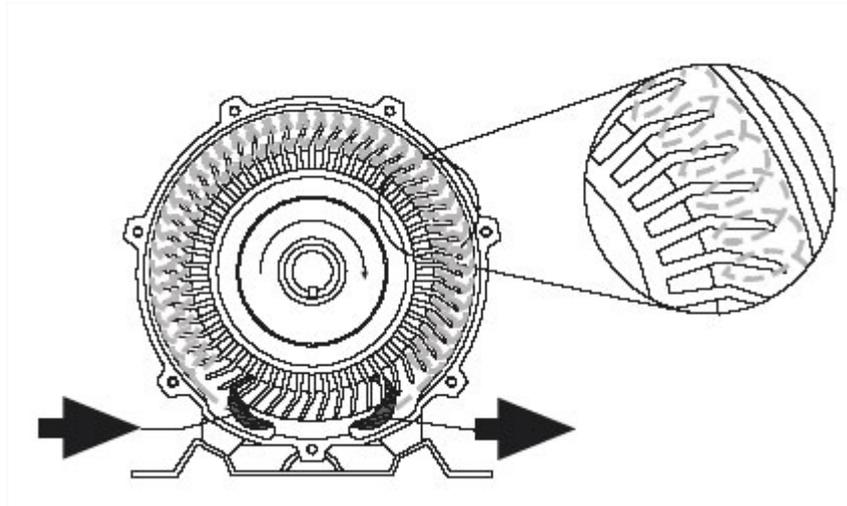


FIGURA 4 – Bomba de vácuo de canal lateral

Fonte: <http://www.gd-elmorietschle.com.br>

2.2.1.4 Análise do estudo sobre a bomba de vácuo

Conhecendo o princípio de funcionamento da bomba de vácuo de canal lateral, conclui-se que a produção de vácuo está diretamente associada com a velocidade do rotor.

No modelo 2BH1910-7HH27, o rotor da bomba de vácuo é montado diretamente no eixo do motor, sendo assim, cada rotação adiciona energia cinética.

O tipo de motor utilizado neste modelo de bomba é um motor de indução trifásico. A continuidade deste projeto será o estudo deste tipo de motor, para tornar possível a análise se a baixa eficiência da bomba de vácuo está relacionada ao funcionamento do mesmo.

2.2.2 Motor elétrico de indução trifásico

Todo motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica. O processo de conversão de energia dos motores de indução é baseado na lei de indução de Faraday e na lei de Lenz. Um motor de indução é um motor elétrico que funciona somente em corrente

alternada e para entender o porquê disto, é necessário analisar seu princípio de funcionamento.

O funcionamento desta máquina possui grande eficiência e requer poucos cuidados em sua manutenção, pois a construção física é bem simplificada, a vida útil é longa, o custo é baixo e é facilmente manobrado, sendo amplamente utilizado para a obtenção de força motriz em aparelhos domésticos e principalmente em maquinário de indústrias. Por essa razão, os motores de indução são também chamados motores industriais.

Pode-se definir o motor elétrico de indução trifásico como a máquina elétrica de corrente alternada, com rotor em curto-circuito, na qual a *Rotação Por Minuto - RPM* depende da frequência da rede elétrica e do número de polos do motor.

A maioria dos motores elétricos empregados atualmente na indústria é do tipo assíncrono e também podem ser chamados de *Motor de Indução Trifásico – MIT*.

O MIT possui a capacidade de partir sozinho, mesmo estando à plena carga, ou seja, ele não necessita de equipamentos elétricos auxiliares para entrar em funcionamento. Ele é capaz de partir do momento de repouso e atingir seu movimento rotativo máximo logo após receber, em seus terminais elétricos, tensão elétrica proveniente da fonte geradora.

A FIGURA 5 apresenta um exemplo de motor de indução trifásico, em corte parcial.

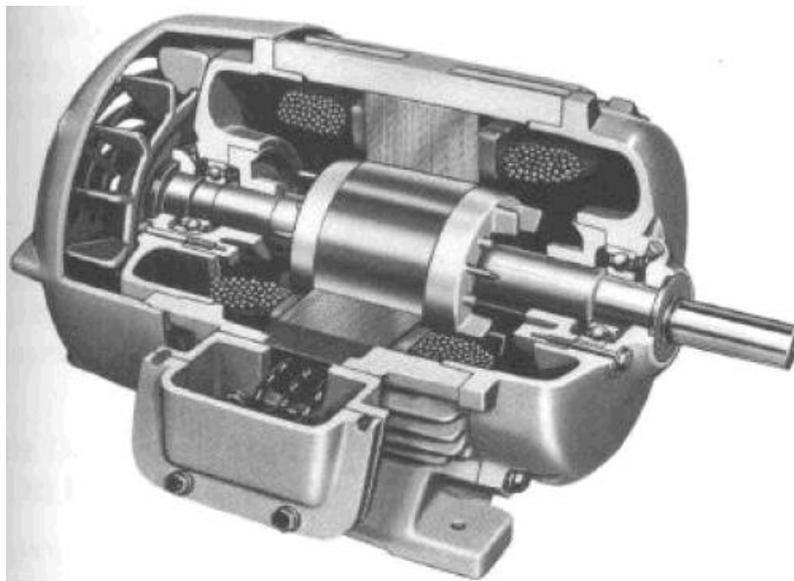


FIGURA 5 – Motor de indução trifásico em corte parcial

Fonte: http://www.faatensp.edu.br/publicacoes/maquinas_assincronas.pdf

2.2.2.1 Componentes do motor

O MIT é composto basicamente por duas partes, conhecidas como fixa e móvel.

A parte fixa é chamada de estator (FIGURA 6), compreendendo a carcaça e o núcleo. A carcaça é a parte externa do motor, feita de ferro fundido ou chapas de aço e sua serventia é para sustentação de toda a máquina. O núcleo é constituído de chapas de ferro-silício em forma de pacote rígido e em seu interior existem ranhuras longitudinais onde estão alojadas as bobinas.

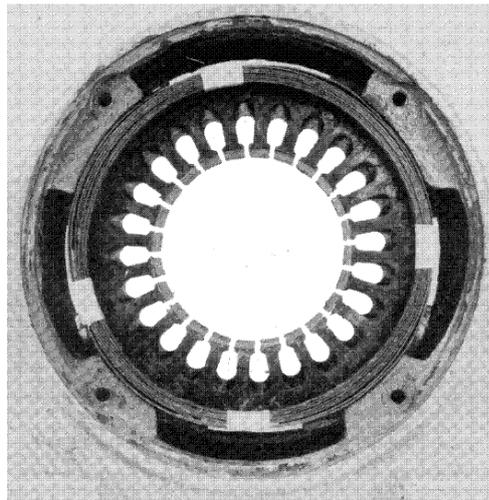


FIGURA 6 – Estator com ranhuras de ferro-silício

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT

A parte móvel é constituída pelo induzido ou rotor. Ela é composta de barras condutoras fechadas em curto-circuito por meio de anéis. Essas barras têm o formato de uma “gaiola de esquilo”, sendo esta a origem do nome “motor elétrico com rotor em gaiola de esquilo”, conforme a FIGURA 7.

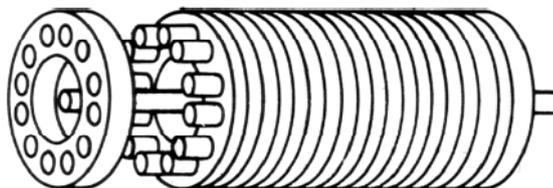


FIGURA 7 – Rotor em gaiola de esquilo

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT

Quando os motores são pequenos, as barras condutoras e os anéis de curto-circuito são feitos de uma liga de alumínio que é fundida e injetada diretamente no rotor laminado. Alguns

rotores apresentam as ranhuras inclinadas em relação ao eixo, como apresentado na FIGURA 8. Isto ocorre com a intenção de diminuir o ruído ocasionado pelo corte das linhas magnéticas criadas pelo indutor.

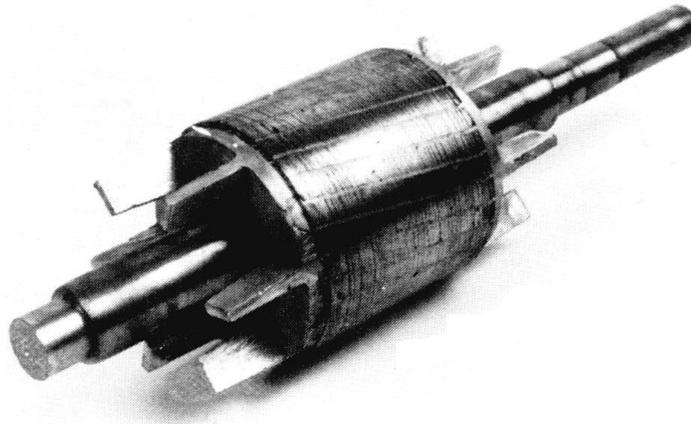


FIGURA 8 – Ranhuras inclinadas no rotor

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT

2.2.2.2 Princípio de funcionamento

Em um motor de indução trifásico real, o fluxo girante é produzido por três enrolamentos iguais fixados no estator (fases do motor) e alimentados por tensões de uma rede trifásica defasadas em 120° elétricos (geralmente coincidem com 120° radianos). Como a frequência da rede é constante, a velocidade de rotação do fluxo (ou campo) girante também é constante. Esse fluxo girante induz correntes ao atravessar as varetas do rotor tipo gaiola. Estas correntes, por sua vez, criam fluxos (como se fossem eletroímãs de polaridade oposta ao fluxo girante) que se opõem ao movimento do fluxo girante (lei de Lenz). Em consequência, o rotor gaiola gira no mesmo sentido do fluxo girante, tentando alcançá-lo para reduzir a intensidade da indução, que como se sabe é proporcional à variação do fluxo (lei de Faraday). Dessa maneira, é estabelecido o torque que faz o rotor gaiola girar. Através da FIGURA 9A, FIGURA 9B e FIGURA 9C, é possível visualizar este fenômeno.

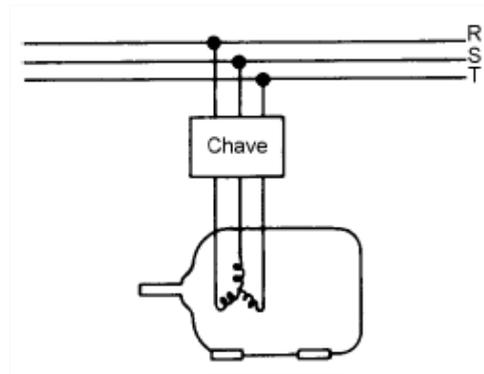


FIGURA 9A– Conexão da rede elétrica trifásica

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT

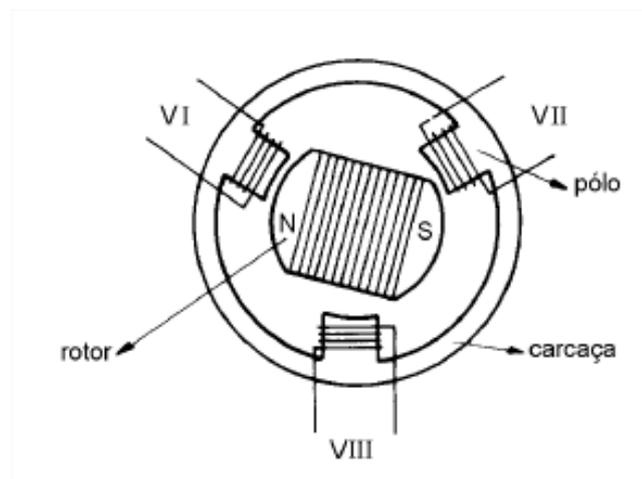


FIGURA 9B – Carcaça, polos e rotor

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT



FIGURA 9C – Onda trifásica

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT

Nem todo motor de indução trifásico possui rotor do tipo gaiola. Existem motores cujo rotor é composto por um enrolamento tradicional com várias espiras, sendo denominado rotor tipo bobinado. Nesse caso, o enrolamento do rotor deve ser ligado em curto-circuito para

permitir a circulação das correntes induzidas. Esse tipo de rotor torna viável algumas técnicas de limitação da corrente de partida do motor.

2.2.2.3 Principais características

O MIT é um dispositivo elétrico que possui diversas características específicas, abrangendo fatores construtivos, elétricos e mecânicos. Neste trabalho será abordada apenas uma breve definição das principais características.

2.2.2.3.1 Velocidade síncrona

A velocidade do campo girante em um motor de indução trifásico é chamada velocidade síncrona. Essa velocidade depende da frequência da tensão trifásica de alimentação do motor. Quanto maior a frequência, maior a velocidade. Porém, os motores de indução podem ser construídos com número de polos diferentes de dois e, nesse caso, o número de polos precisa ser levado em conta. Para motores de indução, a relação entre velocidade do campo girante, frequência da tensão e número de polos é dada pelo cálculo de rotação síncrona, conforme a equação 1:

$$N_s = \frac{120 \times F}{P} \quad (1)$$

em que N_s é a velocidade do campo girante (síncrona) em rpm, o número de polos é P e F é a frequência expressa em Hz.

Caso o motor possua dois polos, sendo um norte e o outro sul, o campo magnético completará uma volta para cada ciclo de frequência. Por outro lado, existindo 4 polos, sendo dois polos norte e dois sul, o campo magnético completará meia volta para cada ciclo de frequência.

Nota-se que quanto maior o número de polos, a velocidade do motor é menor.

Para cada ciclo de frequência, o campo magnético percorre um caminho que vai de um polo norte até outro polo norte, conforme mostra a FIGURA 10.

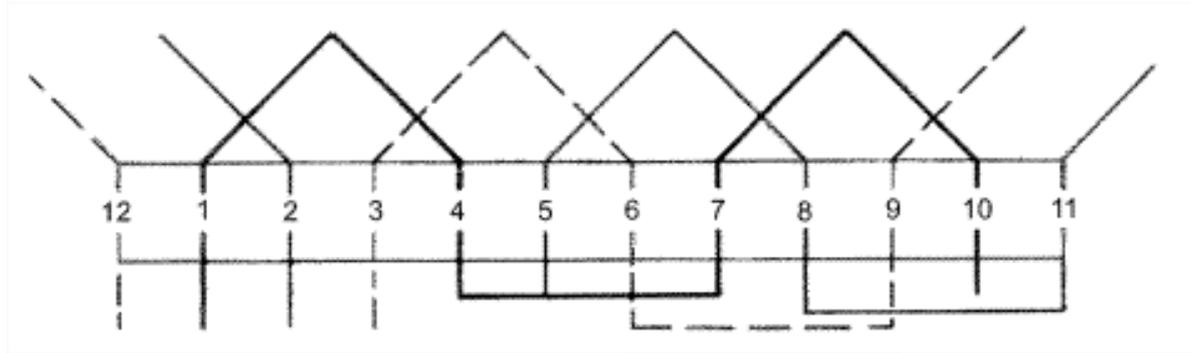


FIGURA 10 – Caminho da corrente elétrica em 1 ciclo

Fonte: A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT

2.2.2.3.2 Velocidade assíncrona

Em qualquer motor de indução, a velocidade do rotor é menor que a velocidade do campo girante (síncrona). Essa velocidade é conhecida como velocidade assíncrona. Se, por hipótese, o rotor conseguisse alcançar a velocidade síncrona, então o campo girante e o rotor gaiola estariam parados (um em relação ao outro), não haveria variação relativa de fluxo e portanto indução. Em regime permanente, a velocidade do rotor depende da diferença relativa das frequências da tensão de alimentação e da tensão induzida no rotor, (equação 2):

$$N_r = \frac{120 \times (F - F_r)}{p} \quad (2)$$

em que N_r é a velocidade do rotor e F_r é a frequência da tensão induzida no rotor, em Hz.

2.2.2.3.3 Escorregamento

Escorregamento é a diferença relativa entre a velocidade síncrona e a velocidade do rotor em um motor de indução. Normalmente é expresso em porcentagem, por ser uma grandeza adimensional. O escorregamento, símbolo s , é definido da conforme a equação 3:

$$s = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \quad (3)$$

Para compreender melhor o escorregamento, considere, por exemplo, um motor de indução trifásico de 4 polos sendo alimentado por uma rede de 60 Hz. A velocidade síncrona (equação 4) desse motor é:

$$N_s = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

Se a velocidade do rotor do motor sem carga é 1760 rpm, o escorregamento nessa situação será:

$$s = \frac{(1800 - 1760) \times 100\%}{1800} = 2,2\%$$

O escorregamento aumenta à medida que a carga mecânica exigida do motor aumenta, pois o rotor reduz sua rotação permitindo uma maior indução e aumentar o torque.

2.2.2.3.4 Alta corrente de partida

Motores de indução trifásicos (assim como outros tipos de motores elétricos) possuem uma característica indesejável que é sua alta corrente de partida, que pode ser de 6 a 10 vezes maior que o valor da corrente de regime permanente. Isso coloca em risco a rede de alimentação e o próprio motor.

Essa corrente de partida tão alta ocorre porque quando o motor é ligado, o rotor está parado, mas o campo girante se estabelece imediatamente. Sendo assim, o rotor sofre uma variação de fluxo muito grande, induzindo-se nele uma corrente muito alta. Essa corrente produz um fluxo magnético intenso. Esse tende a anular o fluxo produzido pelas bobinas do estator, que criam o campo girante. Como reação, a corrente do estator também aumenta rapidamente para restabelecer o fluxo anterior, dando origem ao surto de corrente.

Para minimizar o efeito da corrente de partida alta, são utilizadas técnicas de redução de corrente, tais como:

- Partida em tensão reduzida;
- Chave estrela-triângulo;
- Reostato no rotor bobinado;
- Partida suave através de inversores.

2.2.2.4 Análise do estudo sobre o MIT

Conhecendo o princípio de funcionamento do motor de indução trifásico e suas principais características, percebe-se que sua velocidade está diretamente associada ao número de polos do motor, à frequência da rede de alimentação e à carga mecânica acoplada ao eixo do motor.

Como o problema que originou o projeto está associado à velocidade do eixo do motor, destes três itens, o único em que pode ocorrer variação de um país para outro é a frequência da rede de alimentação, pois podem ser de 50 Hz ou 60 Hz.

Baseado nestes dados, existe a possibilidade de que exista uma variação na produção de vácuo, dependendo da frequência da energia elétrica da rede em que a bomba em questão está conectada. Para comprovar ou não a teoria, serão analisadas as informações fornecidas pelo fabricante da bomba de vácuo.

2.2.3 Bomba de vácuo modelo 2BH1910-7HH27

A bomba de vácuo modelo 2BH1910-7HH27 funciona da seguinte maneira:

- o impulsor é montado diretamente no eixo do motor para proporcionar compressão sem contato;
- o gás é alojado pela entrada. Quando ele entra no canal lateral, o impulsor rotativo proporciona velocidade ao gás na direção da rotação. A força centrífuga nas lâminas do impulsor acelera a saída do gás e a pressão aumenta;
- energia cinética é adicionada a cada rotação, resultando no aumento da pressão juntamente com o canal lateral.;
- o canal lateral fica mais estreito no rotor, varrendo o gás para fora das lâminas do impulsor e descarregando-o pelo silenciador de saída, por onde sai da bomba.

Este modelo de bomba de vácuo possui um fluxo de volume de entrada de até 2.450 m³/h e uma pressão diferencial de até -410 mbar, em pressão de gauge.

O manual fornecido pelo fabricante informa o desempenho da bomba de vácuo em frequências de 50 Hz e 60 Hz.

O gráfico a seguir (FIGURA 11) apresenta o desempenho da bomba de vácuo em frequência de 50 Hz e 60 Hz. Analisando o mesmo, nota-se que a pressão diferencial em

frequência de 50 Hz é maior do que em frequência de 60 Hz, mas em contrapartida a capacidade de sucção é maior em frequência de 60 Hz. No gráfico, o ponto A342 em vermelho indica o desempenho da bomba de vácuo em frequência de 50 Hz e o ponto A343 em azul indica o desempenho da bomba de vácuo em frequência de 60 Hz.

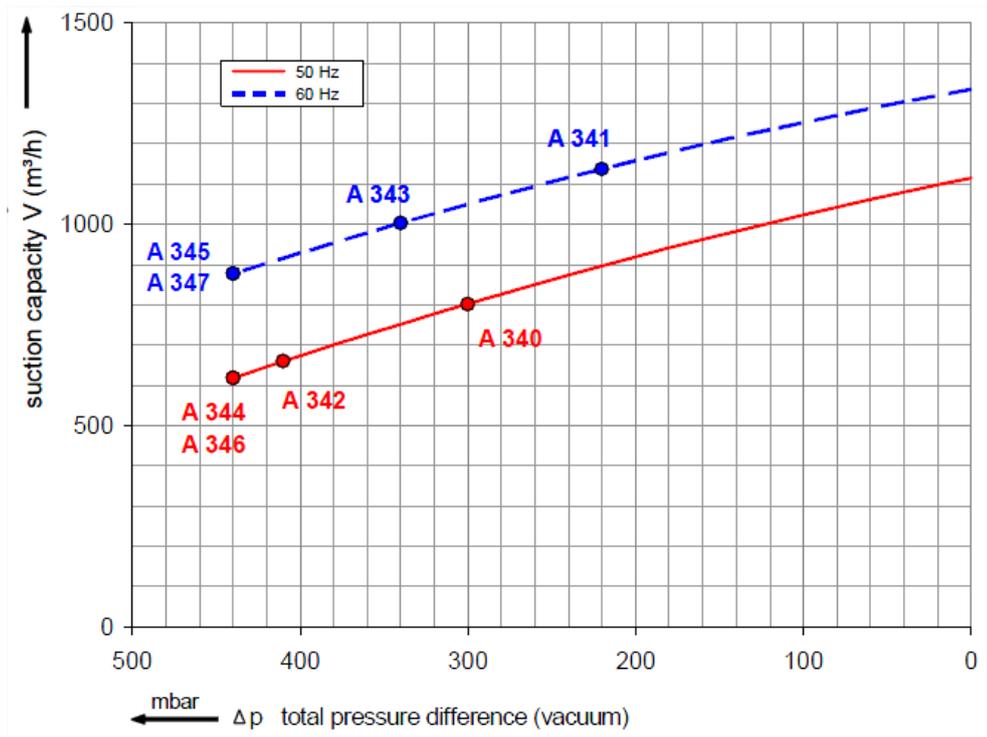


FIGURA 11 – Desempenho: capacidade de sucção x pressão diferencial

Fonte: http://www.gd-elmoietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content_G/DaBIFC/2BH1910_FC_en.pdf

No próximo gráfico (FIGURA 12), é apresentada a potência da bomba de vácuo em frequências de 50 Hz e 60 Hz. Em frequência de 60 Hz, a potência no eixo da bomba de vácuo é maior do que em 50 Hz, sendo que as grandezas são representadas novamente pelos pontos A342 (50 Hz) e A343 (60 Hz).

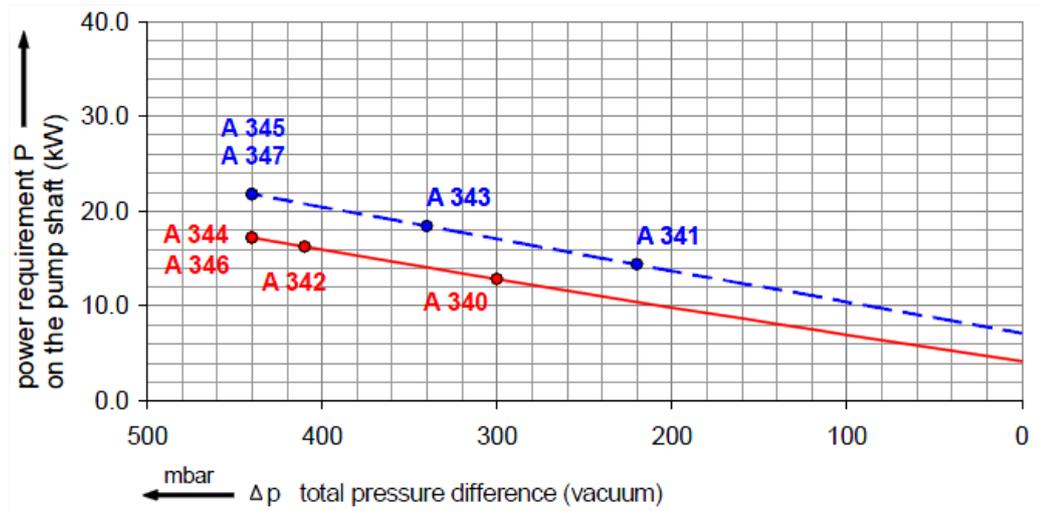


FIGURA 12 – Desempenho: potência no eixo da bomba x pressão diferencial

Fonte: http://www.gd-elmorietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content_G/DaBIFC/2BH1910_FC_en.pdf

No gráfico abaixo (FIGURA 13), tem-se a temperatura da bomba de vácuo, com o MIT da mesma em frequências de 50 Hz e 60 Hz. Nota-se que a temperatura da bomba de vácuo com o MIT em frequência de 50 Hz (ponto A342) é maior do que com o motor em frequência de 60 Hz (ponto A343).

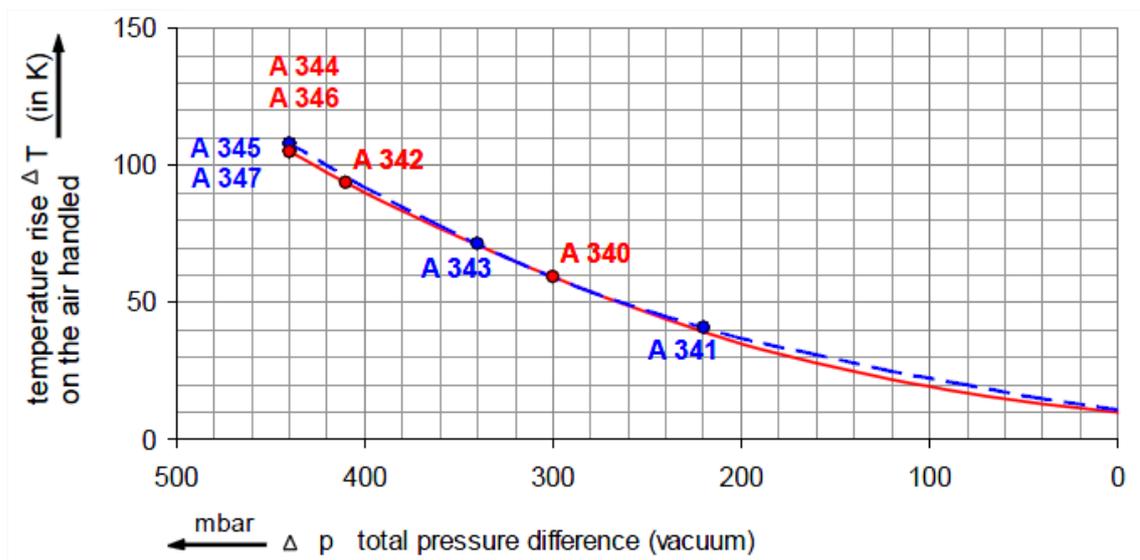


FIGURA 13 – Desempenho: temperatura da bomba x pressão diferencial

Fonte: http://www.gd-elmorietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content_G/DaBIFC/2BH1910_FC_en.pdf

Em resumo, após a análise dos três gráficos, pode-se afirmar que a bomba de vácuo possui um melhor desempenho quando seu MIT é alimentado com energia elétrica em

frequência de 60 Hz, porém a pressão diferencial (vácuo) é inferior à produzida com frequência de 50 Hz.

A necessidade para a resolução do problema que ocorre no processo da linha de produção de fraldas justamente é uma pressão diferencial maior. Sendo assim, isto só é possível com a frequência de 50 Hz na energia elétrica de alimentação do MIT.

Prosseguindo com a análise, será analisado como é possível controlar a frequência de alimentação de um MIT.

2.2.4 Variadores de frequência para motores de indução trifásicos

Conforme visto em equações anteriores, variando-se a frequência de alimentação do motor, varia-se também a velocidade síncrona e conseqüentemente a velocidade mecânica e o torque de um motor de indução.

Existem dois tipos de variadores de frequência estáticos: os variadores diretos de frequência, também chamados cicloconversores, e os conversores que utilizam métodos indiretos. Observa-se na FIGURA 14 um resumo dos tipos de variadores de frequência estáticos utilizados em acionamentos de motores de indução e síncronos.

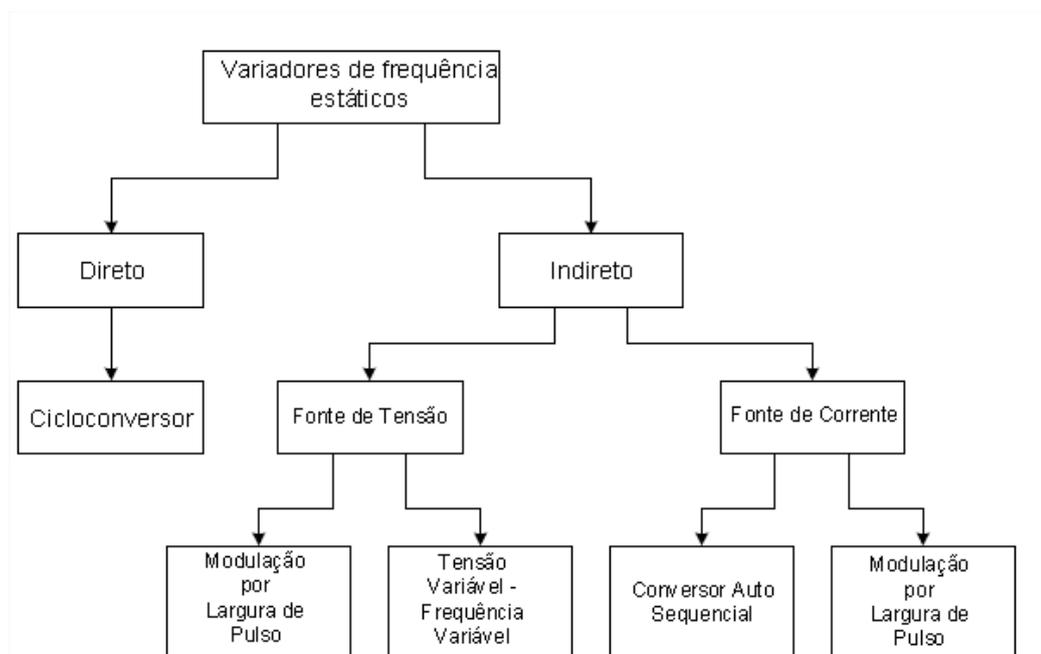


FIGURA 14 – Tipos de variadores de frequência estáticos

Fonte: http://www.feelt.ufu.br/pastas/Controle_de_motores/Acionamento_freq_var.pdf

2.2.4.1 Cicloconversor

O cicloconversor, para alimentar uma carga monofásica, é constituído de dois grupos de conversores auto comutados em antiparalelo. São necessários seis conversores auto comutados para cargas trifásicas, sendo dois por fase. Teoricamente, a frequência de saída de um cicloconversor varia entre 0 e 50% da frequência da fonte. Na prática, para controlar melhor a forma de onda, a frequência de saída não ultrapassa 33% da frequência da fonte. Este pequeno intervalo de variação de frequências é adequado para acionar motores que operam em baixa velocidade. O diagrama de blocos de um cicloconversor pode ser visualizado na FIGURA 15.

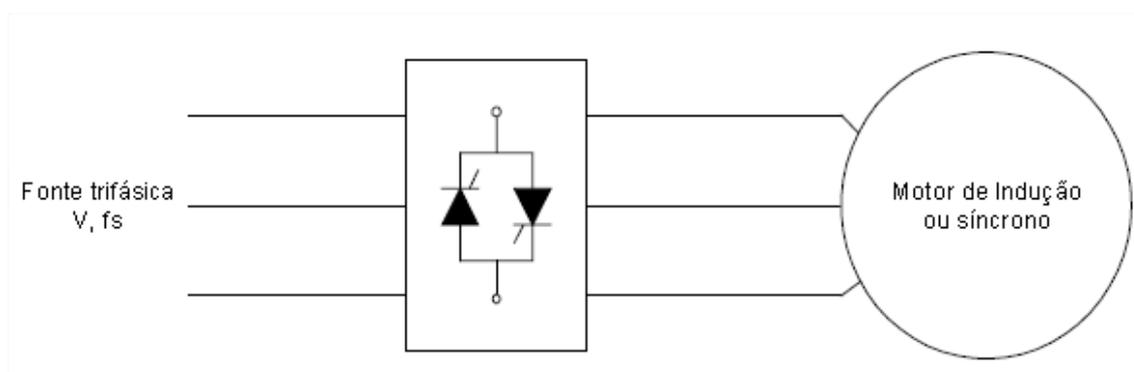


FIGURA 15 – Cicloconversor

Fonte: http://www.feelt.ufu.br/pastas/Controle_de_motores/Acionamento_freq_var.pdf

Entretanto, para a maioria das aplicações é necessária uma faixa ampla de variação de frequências. Os mais indicados para esses casos são os conversores de frequência indiretos.

2.2.4.2 Conversores de frequência indiretos

O conversor de frequência indireto é composto de três estágios: retificação (CA para CC), filtragem e inversão (CC para CA). Eles são classificados conforme sua fonte de suprimento, ou seja, fonte de tensão ou de corrente. Independente do caso, sua amplitude deve ser ajustável. A frequência de saída se torna independente da fonte de suprimento através do barramento de corrente contínua.

A partir deste ponto do trabalho, conversores de frequência indiretos serão chamados somente de inversores de frequência.

2.2.4.2.1 Funcionamento básico de um inversor de frequência

Na fonte de suprimento a frequência é fixa e a tensão é transformada pelo retificador de entrada em contínua pulsada (onda completa).

A filtragem é executada por capacitores eletrolíticos que tem como principal função diminuir as ondulações na tensão que foi retificada e fornecer a tensão CC ao inversor. Além disto, os capacitores trocam potência reativa com o motor .

Esta tensão contínua é conectada ciclicamente aos terminais de saída através dos transistores do inversor, que funcionam como uma chave estática (no modo corte ou saturação). O circuito de comando controla esses transistores, obtendo um sistema de tensão pulsada, cujas frequências fundamentais estão defasadas de 120°.

A tensão de saída têm forma de onda senoidal e esta varia de acordo com o método de modulação conhecido como PWM (modulação por largura de pulso) senoidal, o que possibilita uma corrente senoidal no motor.

2.2.4.2.2 Configuração básica de um inversor de frequência

Basicamente, um inversor de frequência é composto por:

- Circuito de entrada (ponte retificadora não controlada);
- Circuito de pré-carga (resistor, contator ou relé);
- Circuito intermediário (banco de capacitores Buss DC, resistores de equalização);
- Circuito de saída "inversor" (ponte trifásica de IGBT);
- Placa de controle (microprocessada);
- Placa de driver's (disparo dos IGBT, fontes de alimentação, etc.);
- Réguas de bornes de interligação (controle de potência);
- Módulo de frenagem (interno ou externo).

Na FIGURA 16 visualiza-se a configuração básica de um inversor de frequência.

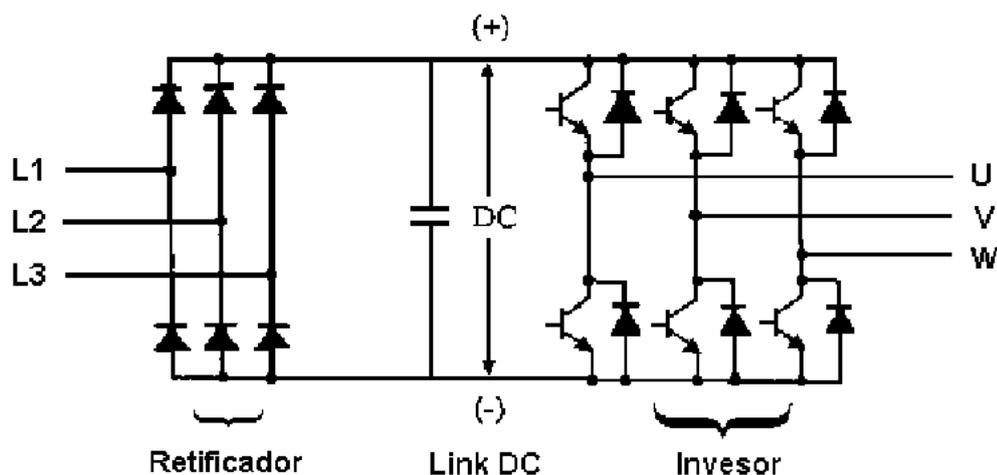


FIGURA 16 – Configuração básica de um inversor de frequência

Fonte: http://www.feelt.ufu.br/pastas/Controle_de_motores/Acionamento_freq_var.pdf

2.2.4.2.3 Diferenças e vantagens dos inversores de frequência

O inversor de frequência, além de possibilitar o controle do motor CA variando a frequência, também realiza a variação da tensão de saída para que seja respeitada a característica V/F (Tensão / Frequência) do motor. Isto ocorre para que não haja aquecimento excessivo do motor quando este operar em baixas rotações. Devido a diminuição da tensão, ocorre um aumento do escorregamento, sendo necessário tomar-se algumas precauções para trabalhar com baixas frequências. Esta limitação de frequência diminui consideravelmente conforme o tipo de inversor que é utilizado, da frequência de operação de PWM, do tipo de controle de modulação e das características do motor.

Ocorre perda de torque quando se trabalha com frequências de operação acima da nominal para a qual o motor foi fabricado. Essa é a chamada região de enfraquecimento, pois não é possível aumentar a tensão de saída do inversor já que esta se iguala ao valor da tensão de alimentação, mas existe aumento da frequência.

É possível visualizar esses comportamentos através da FIGURA 17.

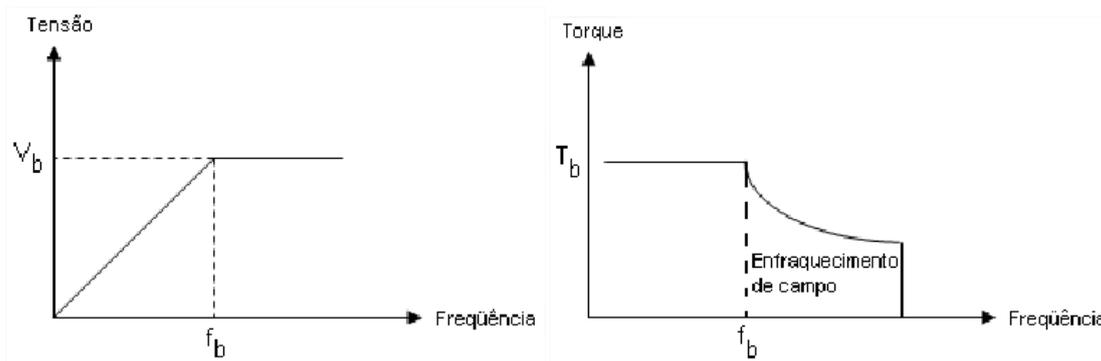


FIGURA 17 – Variação de tensão e torque em função da frequência

Fonte: <http://dc176.4shared.com/doc/iQYKTMeL/preview.html>

2.2.4.2.4 Classificação dos inversores de frequência

Os inversores de frequência podem ser classificados em dois tipos: inversores escalares e vetoriais.

Como dito anteriormente, nos inversores escalares a curva V/F é fixada (parametrizada), utilizando como base o tipo de regime de trabalho em que o inversor irá operar. A baixa rotação é uma condição problemática para este tipo de inversor. Devido ao próprio rendimento do motor, ele não apresenta um bom desempenho com velocidades baixas.

Para compensar essa deficiência, foi desenvolvido o inversor de frequência vetorial.

Este tipo de inversor não funciona com uma curva V/F pré-fixada (parametrizada). Ele varia tensão e frequência, de maneira que otimiza o torque para qualquer condição de rotação (alta ou baixa). É como se para cada nova situação uma nova curva V/F fosse parametrizada a cada ms. O controle realizado pelo inversor vetorial sobre V/F é feito através das correntes rotórica e de magnetização do motor.

Um tacômetro ou um encoder normalmente são utilizados como sensores de velocidade, formando assim uma “malha fechada”. Porém, existem os inversores vetoriais com operação de “malha aberta”, também conhecida como “sensorless”. Esses inversores não utilizam sensores de velocidade externos, sendo necessário um algoritmo de controle mais complexo.

A principal diferença entre os inversores escalares e vetoriais é a capacidade que os inversores vetoriais têm de fornecer o torque necessário ao motor, de maneira precisa e rápida.

Para aumentar o torque com inversores escalares é necessário diminuir a velocidade, ou seja, o torque produzido no motor é proporcional ao escorregamento. Para aumentar o torque, praticamente não existe redução de velocidade nos inversores vetoriais, sendo que o inversor irá fornecer uma frequência e uma tensão adequada para compensar a queda de velocidade e fornecer o torque necessário à carga.

2.2.4.3 Análise do estudo sobre inversores de frequência

Conhecendo o princípio de funcionamento dos inversores de frequência e suas principais características, percebe-se que ele é uma excelente alternativa para o controle de velocidade do MIT.

Como a tensão de alimentação do MIT foi mantida nas linhas de produção de todas as plantas da P&G, alterando somente a frequência, não foi mantida a característica V/F do mesmo.

Desta forma, o prosseguimento do projeto consiste em especificar e instalar um inversor de frequência para controlar o MIT da bomba de vácuo, e após, analisar os resultados.

3 PROJETO

O projeto foi dividido em etapas. Isso ocorreu para que se pudesse trabalhar passo a passo, mantendo o foco sempre no objetivo (etapa) que estava sendo pesquisado e/ou desenvolvido. As etapas do projeto ocorreram da seguinte maneira:

- Definição do modelo do inversor de frequência a ser utilizado;
- Desenvolvimento da parametrização do inversor de frequência;
- Instalação do inversor de frequência para testes;
- Validação do inversor de frequência como solução para o problema;
- Desenvolvimento das alterações para instalação definitiva do inversor de frequência;
- Desenvolvimento da documentação para padronização e reaplicação da instalação do inversor de frequência nas demais linhas de produção.

3.1 Inversor de Frequência

3.1.1 Definição do modelo do inversor de frequência

Para esta etapa do projeto, foi necessário escolher um inversor de frequência da empresa Allen-Bradley, devido à parceria estabelecida entre esta empresa e a Procter & Gamble.

Quando as informações disponíveis para a definição de um inversor de frequência são os valores de tensão e potência, pode-se utilizar alguma tabela do fabricante para determinar o modelo, mas existe o risco de não realizar o acionamento do motor corretamente. Além disso, outras necessidades podem ocasionar a utilização de mais acessórios, ou mesmo a troca do modelo do inversor por um que possua o recurso procurado, encarecendo o projeto.

Desta forma, é necessário se preocupar com diversos itens para que o dimensionamento do inversor seja feito totalmente. Isto é a engenharia de aplicação do produto em uma máquina.

Sendo assim, foram considerados os seguintes itens para dimensionamento e definição do inversor de frequência a ser utilizado:

- *Potência e tensão do motor:* tensão de entrada de 400 V, potência de 16,5 kW e corrente nominal de 35 A;
- *Tipo de máquina:* bomba de vácuo de canal lateral;
- *Ciclo de trabalho da máquina:* trabalho contínuo, com paradas programadas pelo operador ou em ocasionadas pelo sistema de segurança da máquina;
- *Tempo de aceleração e desaceleração:* como o trabalho é contínuo, com paradas planejadas, não são necessários tempos de aceleração e desaceleração pequenos, portanto é possível utilizar tempos que não prejudicam o motor;
- *Velocidade mínima e máxima:* como a utilização será em frequência de 50 Hz, a velocidade mínima será 0 Hz e a máxima 50 Hz;
- *Comando de 2 fios ou 3 fios:* não serão utilizados comandos de partida e parada através das entradas digitais, pois a pretensão é realizar via comunicação serial;
- *Referência de velocidade:* como dito, será utilizada comunicação serial, inclusive para referência de velocidade. Para testes iniciais, a referência de velocidade será manual;
- *Acionará acima de 60 Hz?* Não;
- *Tipo de parada:* rampa;
- *Resistor de frenagem?* Não será necessário;
- *Temperatura ambiente:* painel possui ventilação e área de produção possui ar condicionado com temperatura em torno de 28 °C;
- *Usará contator na entrada ou na saída?* Sim, na entrada;
- *Comunicação serial:* será utilizada, mantendo o padrão atual da linha de produção, neste caso, ControlNet;
- *Ruído eletromagnético:* possivelmente ocorrerá;
- *Harmônicos:* será utilizado filtro harmônico;
- *Instalação elétrica:* aterramento e blindagem de cabos na instalação;
- *Proteção elétrica:* disjuntor, nível de curto-circuito.

Após a realização da análise, dentre os modelos de inversor de frequência da Allen-Bradley, o modelo que apresentou maior compatibilidade com o projeto foi o *PowerFlex 70 AC Drive* (FIGURA 18).



FIGURA 18 – Inversor de frequência PowerFlex 70 AC Drive

Fonte: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/20a-um001_-en-p.pdf

Este inversor possui as seguintes características:

- Corrente de saída contínua: 43 A;
- Corrente de saída em 1 minuto: 56 A;
- Corrente de saída em 3 segundos: 74 A;
- Potência para regime de trabalho normal: 22 kW;
- Potência para aplicação pesada: 18,5 kW;
- Desempenho de controle: volts por hertz, vetor sem sensor, controle vetorial de fluxo;
- Comunicação: protocolo industrial comum (CIP);
- Interface do usuário: IHM (opção);
- Segurança: DriveGuard Safe Torque-Off/EN954-1 Cat.3;
- Recursos: controle da velocidade e do torque com e sem realimentação de encoder pjump e percurso para aplicações de fibras;

- Filtros EMC: interno;
- Capacidade de sobrecarga: 110% - 60s, 150% - 3s (aplicação de regime de trabalho normal); 150% - 60s, 200% - 3s (aplicação de regime de trabalho pesado);
- Faixa de frequência de saída: 0 a 500Hz;
- Entradas analógicas: 2 (1 tensão ou corrente bipolar, 1 tensão ou corrente bipolar);
- Saídas analógicas: 1 (tensão ou corrente unipolar);
- Entradas PTC: 1 (usa uma entrada analógica);
- Entradas digitais: 6 (24Vcc ou 115Vac);
- Saídas à relé: 2 (formato C);
- Transistor de freio interno: padrão;
- Filtro de modo comum: opção externa;
- Opções de comunicação: DeviceNet, Ethernet/IP, ControlNet, LonWorks, Profibus DP, BACnet, CANopen, Lonwork, Bluetooth, ModBus TCP, E/S Remota, Interbus.

3.1.2 Desenvolvimento da parametrização do inversor de frequência

Explicar todos os parâmetros do *Power Flex 70 AC Drive* (daqui em diante, PF70) seria repetir o que geralmente está informado no manual, sendo assim, foi utilizado um recurso interessante deste equipamento.

Com a evolução dos inversores de frequência, uma quantidade enorme de informações é necessária para regulá-lo totalmente. Para contornar esta situação, o PF70 vem com seus parâmetros possuindo valores de fábrica previamente regulados e, como não será necessário modificar a maioria deles para uma aplicação específica, ele reúne um mínimo de ajustes num menu único. Esse menu é chamado S.M.A.R.T.

Para realizar a instalação inicial e analisar a viabilidade de instalação do PF70 como solução definitiva, a parametrização básica foi feita através deste menu.

S.M.A.R.T. é a sigla, em inglês, referente ao tipo de ajustes que podem ser realizados para colocar em funcionamento o inversor. O significado das letras da sigla seguem abaixo, em língua portuguesa:

S - Modo de Partida e Modo de Parada;

M - Velocidades mínima e máxima;

A - Tempo de aceleração 1 e Tempo de desaceleração 1;

R - Fonte de referência;

T - Sobrecarga térmica do motor;

Dentro deste menu de parâmetros básicos, os que foram alterados para o teste de funcionamento da bomba de vácuo com o PF70 são os que constam na TABELA 2.

TABELA 2 – Parâmetros alterados para instalação do inversor (fase de testes)

Parâmetro	Descrição	Valor atual	Unidade	Valor padrão
42	Amps Mtr ID.	35	Amps	55
44	[RPM Mtr ID.	2915	rpm	1480
45	Potência Mtr ID.	16.5	kW	30
90	Sel Ref Veloc A	DP1		Ent Analóg 2
169	Partid Mov Ativ	Ativado		Desativado
361	Sel Entr Digit 1	Não Usado		Parada – CF
362	Sel Entr Digit 2	Não Usado		Partida
363	Sel Entr Digit 3	Não Usado		Auto/ Manual
364	Sel Entr Digit 4	Não Usado		Sel Veloc 1
365	Sel Entr Digit 5	Não Usado		Sel Veloc 2
366	Sel Entr Digit 6	Não Usado		Sel Veloc 3

Com a parametrização desta forma, foram realizados os testes de funcionamento do MIT com o PF70, utilizando como instrumento para partida e controle de velocidade a IHM (Interface Homem-Máquina) que acompanha o inversor.

3.1.4 Instalação do inversor de frequência para testes

Com a parametrização do inversor definida, iniciou-se a instalação para teste.

Analisando o manual do fabricante do PF70, a configuração da instalação/fiação existente para a alimentação do MIT da bomba de vácuo era suficiente para a realização dos testes de funcionamento do mesmo.

Desta forma, o PF70 foi inserido entre o contator de partida e o MIT, conforme a FIGURA 19.

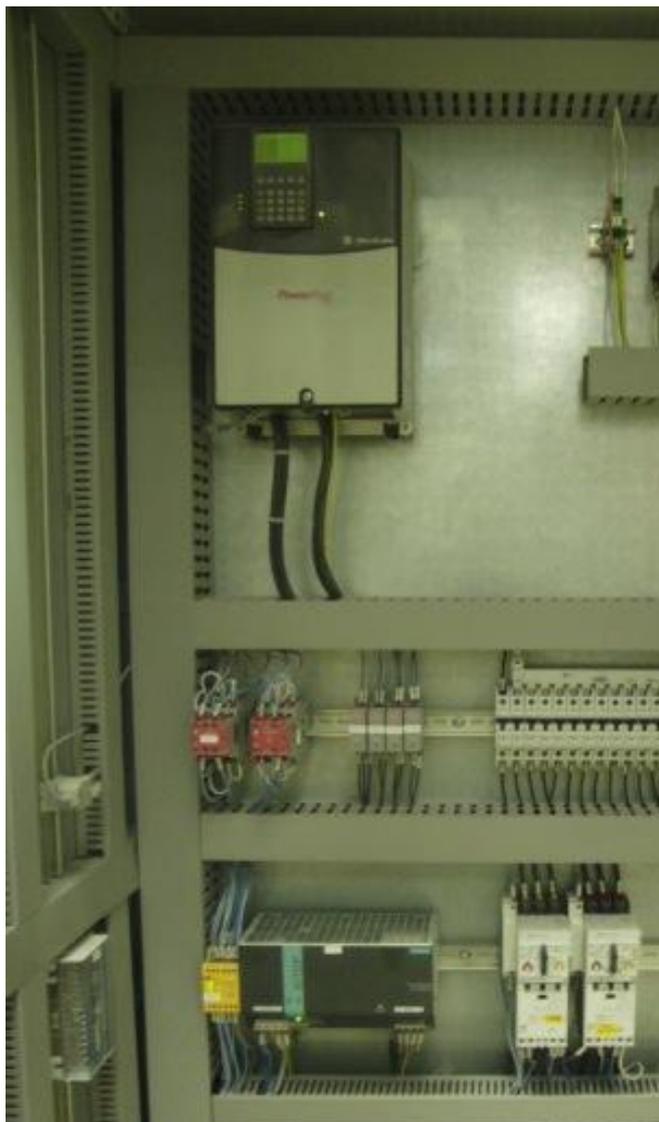


FIGURA 19 – Inversor de frequência PF70 (fase de testes)

Inserido o PF70 para partida e controle do MIT da bomba de vácuo, foi realizada a parametrização conforme definido no capítulo anterior. Após isso, o PF70 foi colocado em funcionamento.

Para realizar os testes, foi escolhida a linha de produção de fraldas LV10, pois dentre todas é a que mais exige em performance da bomba de vácuo, devido às características do produto que é feito nesta linha.

Os testes foram realizados durante um período de 7 dias, em que a bomba de vácuo permaneceu com seu funcionamento contínuo em 24 horas diárias, com paradas planejadas pelos operadores em algumas ocasiões. Acompanhando a performance do equipamento e realizando as medições necessárias, obteve-se os resultados conforme apresentados na TABELA 3.

TABELA 3 – Medições realizadas na bomba de vácuo (fase de testes).

Data	Hora	Temperatura do MIT [°C]	Corrente [A]	Pressão diferencial (vácuo) [mbar] Gauge
23-abr	09:01	40.5	30.3	-450
23-abr	17:25	43.1	29.8	-445
24-abr	01:00	39.7	30.1	-445
24-abr	09:52	41.1	30.1	-450
24-abr	18:05	42.3	29.9	-440
25-abr	02:10	39.9	30.3	-450
25-abr	08:57	39.9	30.3	-445
25-abr	20:29	42	30.2	-445
26-abr	04:33	40.2	29.9	-440
26-abr	10:12	43.3	30	-450
26-abr	16:58	42.7	30.1	-450
27-abr	03:10	37.8	30	-450
27-abr	09:32	41.1	30.2	-445
27-abr	17:03	39.8	29.8	-440
28-abr	00:16	40	30.1	-450
28-abr	09:29	42.6	30.3	-455
28-abr	18:52	42.8	30.2	-450
29-abr	01:43	37.9	30.3	-445
29-abr	08:08	38.1	30	-445
29-abr	17:33	40.5	29.9	-440
30-abr	05:03	39.8	29.9	-450

Analisando os resultados obtidos durante a semana de teste da instalação do inversor de frequência, foi comprovada a funcionalidade do equipamento como solução definitiva para o problema inicial, ou seja, a ineficiência na performance da bomba de vácuo e a perda de motores devido à sobrecarga nos mesmos.

Desta forma, foi desenvolvida a instalação definitiva do PF70, realizando as alterações no painel de comando, programa do PLC, comunicação serial através da rede ControlNet, cabeamento e parametrização.

3.2 Desenvolvimento e Execução das Alterações para Instalação Definitiva do Inversor de Frequência

Com a validação do acionamento do motor de indução trifásico pelo inversor de frequência *Power Flex 70 AC Drive*, alguns aspectos foram considerados para a instalação

definitiva do mesmo. As análises realizadas sobre esses aspectos e, em cada caso, a solução ou a escolha para a instalação do inversor são apresentadas a seguir.

3.2.1 Rede de alimentação elétrica

Os inversores são projetados para operar em redes de alimentação simétricas. A tensão entre terra e fase deve ser constante. Se, por exemplo, esta tensão variar devido a influência de algum outro equipamento ligado a rede, será necessário inserir um transformador de isolamento. Para o projeto, não há necessidade, pois na mesma rede em que está instalado o inversor de frequência existe somente mais um MIT. Este painel já está isolado do restante da rede de alimentação da linha.

3.2.2 Fusíveis, disjuntores e contatores

O PF70 pode ser instalado com um disjuntor ou com fusíveis de entrada. Este item é necessário pois o PF70 não fornece proteção contra curto-circuito de ramificação. No atual sistema de partida do MIT da bomba de vácuo, existe o disjuntor acoplado ao contator. Consultando o manual do PF70 para verificar as especificações necessárias para o disjuntor, o atual não é o ideal para o circuito. Sendo assim, foi definida a continuidade da utilização de um disjuntor e um contator, com a finalidade de prevenir a partida automática do motor depois de uma interrupção de energia. Sendo assim, dentre os modelos analisados que atendem as necessidades do circuito, o disjuntor escolhido foi o *PKZM4-63* (FIGURA 20A) e o contator o *DILM65- RDC24* (FIGURA 20B), ambos da fabricante Eaton-Moeller.



FIGURA 19A – Disjuntor PKZM4-63

Fonte: http://datasheet.moeller.net/datasheet.php?model=222413&locale=en_GB



FIGURA 19B – Contator DILM65 (RDC24)

Fonte: <http://datasheet.octopart.com/DILM65%28RDC24%29-Moeller-datasheet-509415.pdf>

3.2.3 Cabos

Os sinais elétricos transmitidos através dos cabos podem emitir radiação eletromagnética e também podem absorver radiação, ocasionando sinais falsos que prejudicarão o funcionamento do equipamento. O cabo de conexão do motor ao inversor de frequência é uma das maiores fontes de emissão de radiação eletromagnética. Desta forma, a melhor opção de cabo para instalação de um inversor de frequência é o *cabo blindado*.

O cabo blindado apresenta todas as vantagens de um cabo multicondutor, mas com o benefício adicional da blindagem trançada de cobre, que pode conter grande parte do ruído gerado por um inversor. Em algumas aplicações, ele também pode ajudar a reduzir as correntes induzidas do mancal e a tensão do eixo do MIT. Além disso, a elevada impedância do cabo blindado pode ajudar a aumentar a distância da localização entre o motor e o inversor.

Desta forma, a opção foi manter os cabos existentes no painel elétrico para a alimentação do PF70. Para a ligação entre o PF70 e o MIT, existe a necessidade de instalar o cabo blindado. Analisando as opções de mercado, o escolhido foi o modelo 280804CY do fabricante *LAPP CABLE*, conforme a FIGURA 21.



FIGURA 21 – Cabo modelo 280804CY

Fonte: <http://lappbrasil.lappgroup.com/nc/pdf-generation.html?pageID=760327>

Para os cabos de controle, foi mantido o padrão utilizado na linha.

3.2.4 Aterramento

Conforme instruções de aterramento do PF70, verificadas no manual, o aterramento de segurança do inversor deve ser conectado ao aterramento do sistema.

Além disso, para o aterramento eficiente do PF70 foram observados alguns pontos:

- Aterramento em um único ponto (inversor + motor);
- O motor aterrado na estrutura da máquina (segurança);
- Fiação de aterramento não compartilhada;
- Malha de aterramento com resistência menor que 10 Ω (ohms);
- Rede elétrica referenciada ao terra (neutro aterrado na subestação).

A FIGURA 22 ilustra o padrão de instalação do PF70.

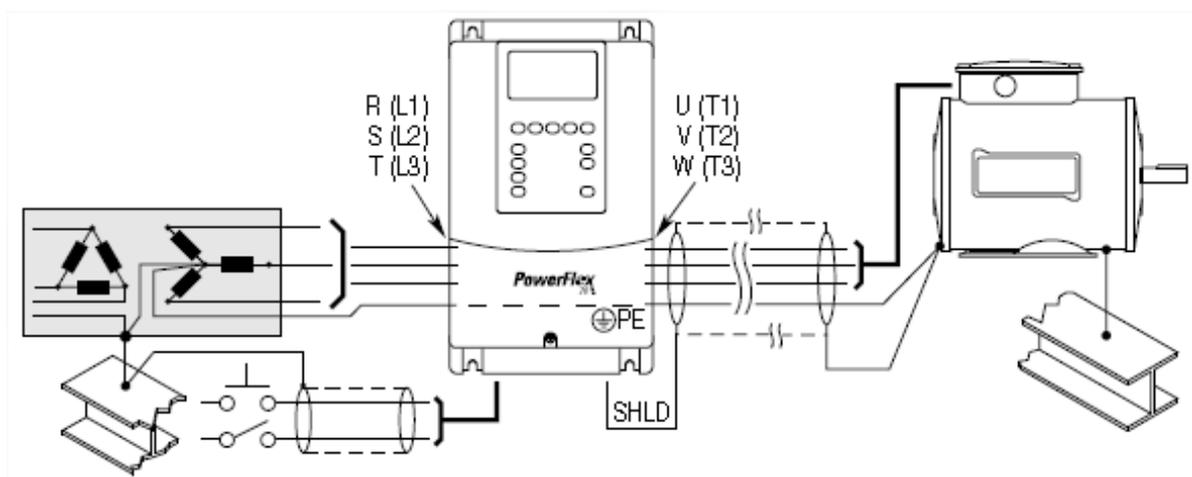


FIGURA 22 – Padrão de aterramento PF70

Fonte: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/20a-um001_-en-p.pdf

3.2.5 Comunicação serial

Como mencionado anteriormente, os comandos para este inversor de frequência seriam realizados pelo PLC. Como é interessante para a empresa monitorar em tempo real alguns parâmetros do inversor de frequência, o mesmo foi inserido na rede de comunicação atual da linha de produção, ou seja, a rede ControlNet.

Para isso, foi necessária a instalação de um adaptador deste padrão de rede, tornando possível o inversor receber e enviar informações através da mesma.

O tipo de cabeamento de rede utilizado é o coaxial e dentre os produtos fornecidos pela Allen Bradley, o escolhido que atende as expectativas do projeto foi o modelo 20-COMM-C, mostrado na FIGURA 23.



FIGURA 23 – Adaptador ControlNet 20-COMM-C

Fonte: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/m/20comc-rn004_-en-p.pdf

A instalação deste adaptador ao inversor de frequência foi simples, sendo necessário somente fixá-lo ao PF70 no local determinado e conectar o cabo do mesmo à porta DPI do inversor de frequência. O único cuidado que foi definir o endereço do nó antes de energizar o adaptador, pois o mesmo utiliza o endereço do nó que é detectado quando o mesmo é energizado.

Para a instalação do PF70, foi utilizado o valor 8 para o endereço do mesmo na rede ControlNet.

3.2.6 Parametrização

Como foi instalado o adaptador ControlNet para inserção do PF70 na rede da linha de produção, foi necessário que alterar alguns parâmetros referentes à parametrização que havíamos realizado para a instalação de testes do PF70.

Esse parâmetros foram basicamente o endereçamento do inversor de frequência na rede (nó 8) e a referência de velocidade do MIT, que anteriormente era feita manualmente no

HMI do PF70. Com a instalação definitiva, o controle foi feito pelo PLC, enviando esses dados através da rede ControlNet. Sendo assim, foi preciso endereçar a referência para a porta de comunicação do PF70 em que está conectado o adaptador ControlNet, ou seja, a porta DPI5. Abaixo, a TABELA 4 com o parâmetro do PF70 alterado e a TABELA 5 com o parâmetro do adaptador ControlNet alterado.

TABELA 4 – Parâmetro alterado do inversor (referência de velocidade)

Parâmetro	Descrição	Valor atual	Unidade	Valor padrão
90	Sel Ref Veloc A	DPI5	N/A	Ent Analóg 2

TABELA 5 – Parâmetro alterado do adaptador (endereço na rede)

Parâmetro	Descrição	Valor atual	Unidade	Valor padrão
3	Cfg End CN	8	N/A	2

3.2.7 Software para configuração/diagnóstico do inversor de frequência

A Allen-Bradley possui um software projetado para sistemas operacionais Microsoft Windows 2000/XP/Vista. Esse software oferece interface de programação simplificada para programar, localizar falhas e realizar a manutenção dos inversores PowerFlex.

Ele é o DriveExecutive. Com ele é possível realizar a configuração on-line/off-line para inversores e adaptadores com navegação ao estilo do Windows Explorer.

Nas linhas de produção existem inversores de frequência da linha PowerFlex, além do que foi instalado no projeto. Nestes, já era utilizado o software DriveExecutive. Desta forma, ele foi a ferramenta para a configuração e diagnóstico do PF70. Observa-se na FIGURA 24 a interface do software.

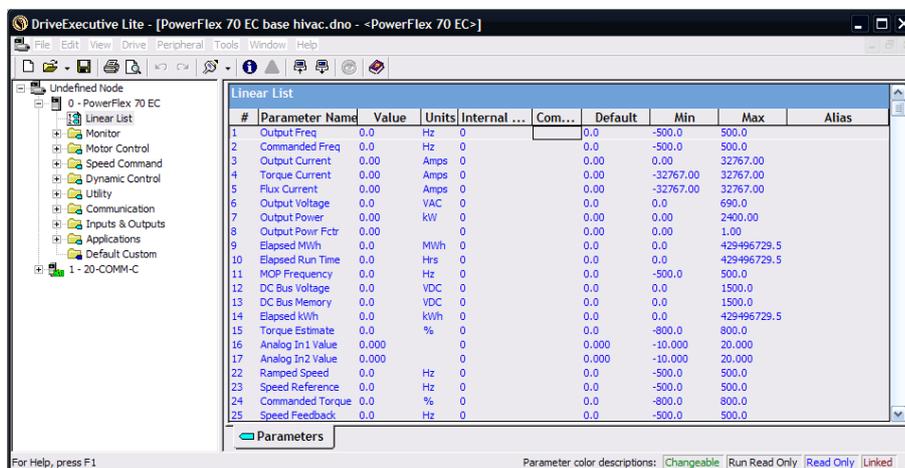


FIGURA 24 – Interface do software DriveExecutive.

Toda a parametrização do PF70 está disponível em um arquivo do padrão deste software, o qual tem o nome de *PowerFlex 70 EC base hivac*.

Todos os parâmetros do inversor de frequência, em sua aplicação final, está disponível nos anexos deste trabalho.

3.2.8 Alterações no programa do PLC

Nas linhas de produção, o PLC utilizado é o *Controllogix* (FIGURA 25). Este PLC oferece benefícios como ambiente de programação comum, redes comuns, mecanismo de controle comum, o que proporciona o alto desempenho que a aplicação nas linhas de produção necessitam, em um ambiente de fácil utilização.



FIGURA 25 – PLC Controllogix, da Allen Bradley

Fonte: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um535_-en-p.pdf

O software de programação é o RSLogix 5000 (FIGURA 26), no qual é possível programar em linguagem SFC, ladder, texto estruturado, blocos e controle de movimento. Ele suporta aplicações como processos, movimento, segurança e inversores de frequência.

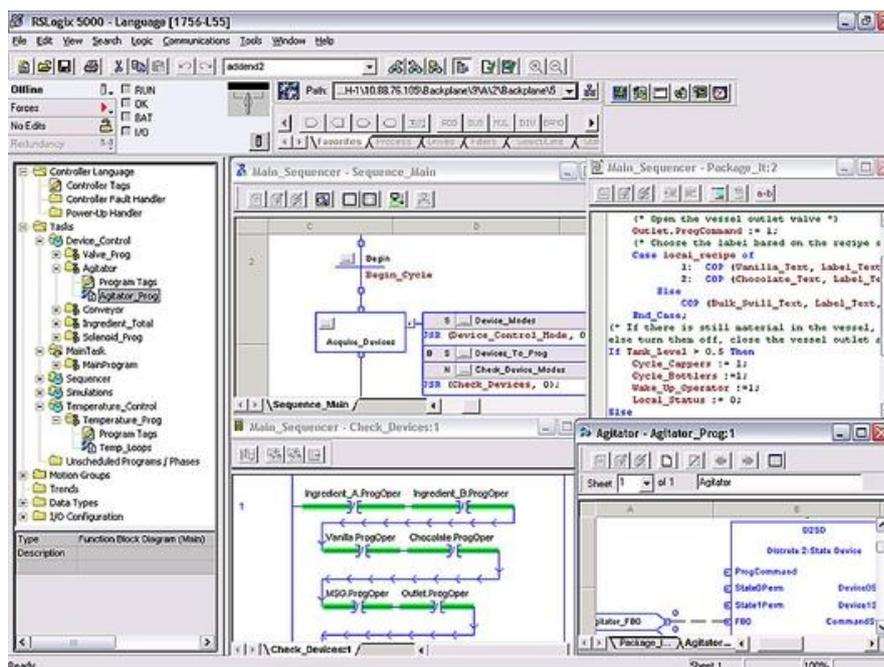


FIGURA 26 – Interface do software RSLogix 5000

Fonte: <http://www.intereng.com.br/produtos/rockwell-software/design-e-configuracao/rslogix-5000>

Para inserir os controles e diagnósticos referentes ao PF70, foi necessário realizar algumas alterações sobre o programa original do PLC. As alterações foram realizadas off line em um programa base, e posteriormente este programa foi descarregado no PLC.

Este programa foi nomeado conforme os padrões já utilizados na linha de produção, sendo chamado *Main_Controller_HVac*.

Todas as alterações realizadas no programa estão disponíveis nos anexos deste trabalho.

3.3 Instalação Definitiva

Após o desenvolvimento de todas as alterações necessárias para a instalação do PF70, foi executada a instalação na linha de produção LV10 (FIGURA 27) e elaborada toda a documentação necessária para reuplicação do projeto nas demais linhas de produção da planta da Procter & Gamble de Louveira.



FIGURA 27 – Instalação definitiva do inversor PF70

Toda a documentação foi compartilhada a nível global dentro da empresa, sendo reaplicada nas demais linhas de produção da América Latina que apresentaram o mesmo problema. Com a eficácia do projeto, o mesmo foi estendido para todas as linhas de produção, mesmo nas quais não ocorria o problema abordado neste trabalho.

Após esse projeto, todas as linhas de produção que são fabricadas contam com a instalação do PF70, tornando-se item padrão.

A documentação foi desenvolvida seguindo as normas da empresa, devido à isso possuem nomenclatura padronizada e descritivo em língua inglesa.

Na FIGURA 28, visualiza-se a página inicial da documentação das alterações realizadas no software para a instalação do PF70. O nome do documento é 011EIS1000308_R01.

	ENGINEERING INFORMATION CR Title: SPECIFY A FEILZ VAC PUMP THAT CAN MEET USL	EI No: 011EIS1000308 Issue Date: Jul-25-2011 Revision: 01 Revision Date: Aug-04-2011
---	--	---

1. **Scope Details** (Areas affected, Sub-module in question):

FEATURE	3rd Level FLN	Safety	Mechanical	Pneumatic	P&C Hardware	P&C Software	Midrange/CBA	Miscellaneous	Recipe File	Stop List
=011 Central Control Panel						X			X	X

2. **CR Kit Assembly or DRV Number:**

Parts* to be ordered:

Qty.	Order/Dwg. #	Ref. BOM	MMR	Description / Title	Vendor

*include special tools & drill templates if needed

3. **Reference CR's:**

a) List of CR(s) that need to be installed first:

b) List of CR(s) that need to be installed in conjunction with this CR (e.g. to minimize construction effort): 010V6EIE1000308
011EIE1000308

c) Changes to software have been integrated starting with the following software revisions:

FLN	ControlLogix	RSView MOID	RSView Local HMI	Misc.
=011 CCP	06.03.01	06.03.01		

4. **Pre-Work Before Line Shut Down:**

a. Materials: None

b. Resources: None

c. Special Tools: None

d. Special Safety Considerations: None

5. **Site Clearance Efforts:** None

6. **Installation Procedure:**

a. Installation will be managed by: Plant

011EIS1000308_R00.doc Page 18 of 19

FIGURA 28 – Documento para padronização das alterações no software

Na FIGURA 29, pode-se visualizar uma das páginas da documentação das alterações realizadas na construção do equipamento, incluindo alterações no painel, cabeamento, especificação dos novos dispositivos, etc. O nome do documento é 010V6EIE1000308.

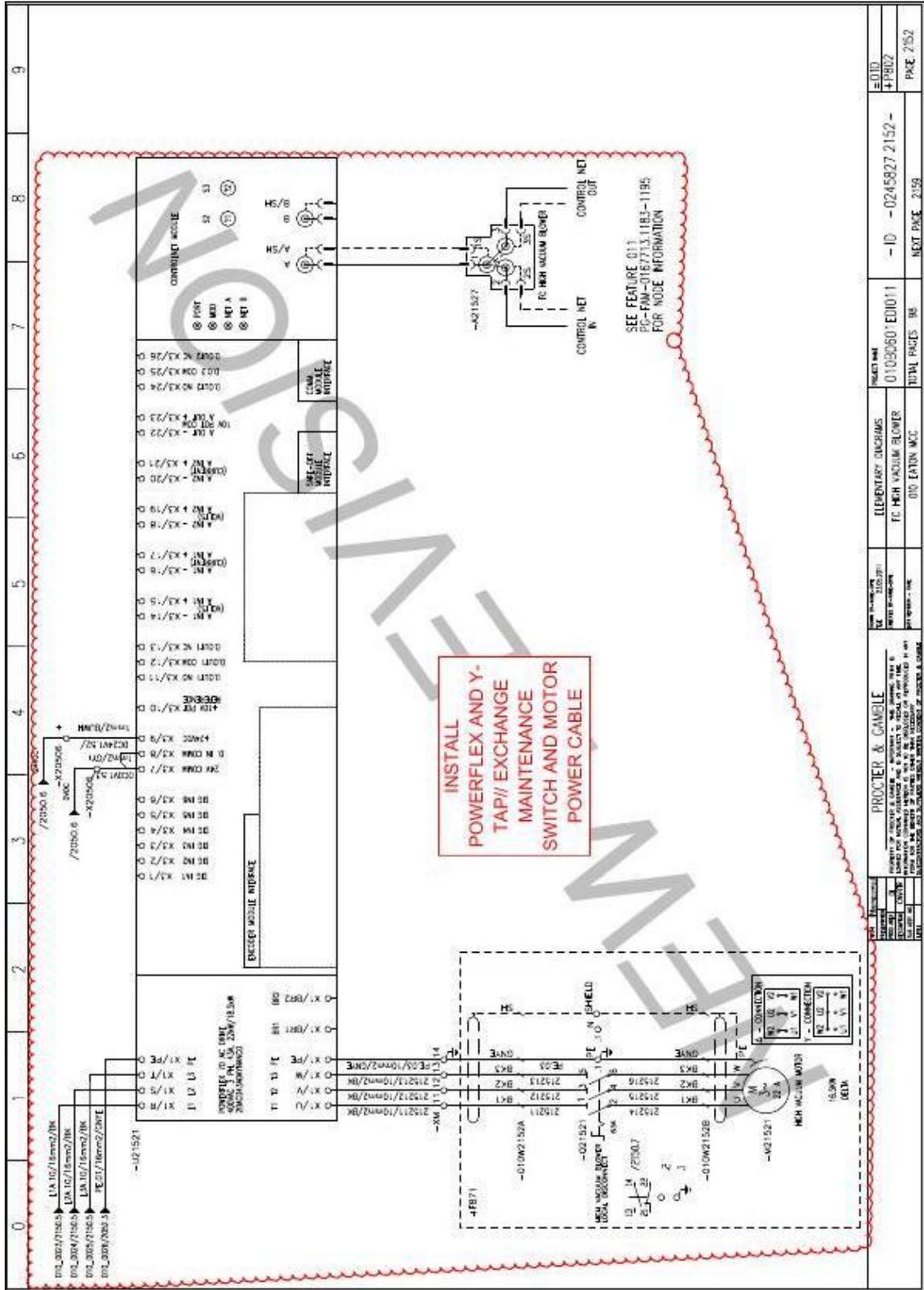


FIGURA 29 – Documento para padronização das alterações na construção

A FIGURA 30, trata-se da parametrização do PF70 e do adaptador. Como citado anteriormente, é um arquivo utilizado pelo software DriveExecutive. Nesta figura visualiza-se a imagem da tela do computador com o software sendo utilizado, contendo os parâmetros.

#	Parameter Name	Value	Units	Internal Value	Comment	Default	Min	Max	Alias
1	Output Freq	0.0	Hz	0		0.0	-500.0	500.0	
2	Commanded Freq	0.0	Hz	0		0.0	-500.0	500.0	
3	Output Current	0.00	Amps	0		0.00	0.00	32767.00	
4	Torque Current	0.00	Amps	0		0.00	-32767.00	32767.00	
5	Flux Current	0.00	Amps	0		0.00	-32767.00	32767.00	
6	Output Voltage	0.0	VAC	0		0.0	0.0	690.0	
7	Output Power	0.00	kW	0		0.00	0.00	2400.00	
8	Output Powr Fctr	0.00		0		0.00	0.00	1.00	
9	Elapsed MWh	0.0	MWh	0		0.0	0.0	429496729.5	
10	Elapsed Run Time	0.0	Hrs	0		0.0	0.0	429496729.5	
11	MOP Frequency	0.0	Hz	0		0.0	-500.0	500.0	
12	DC Bus Voltage	0.0	VDC	0		0.0	0.0	1500.0	
13	DC Bus Memory	0.0	VDC	0		0.0	0.0	1500.0	
14	Elapsed kWh	0.0	kWh	0		0.0	0.0	429496729.5	
15	Torque Estimate	0.0	%	0		0.0	-800.0	800.0	
16	Analog In1 Value	0.0000		0		0.0000	-10.0000	20.0000	
17	Analog In2 Value	0.0000		0		0.0000	-10.0000	20.0000	
22	Ramped Speed	0.0	Hz	0		0.0	-500.0	500.0	
23	Speed Reference	0.0	Hz	0		0.0	-500.0	500.0	
24	Commanded Torque	0.0	%	0		0.0	-800.0	800.0	
25	Speed Feedback	0.0	Hz	0		0.0	-500.0	500.0	
26	Rated kW	30.00	kW	3000		30.00	0.00	300.00	
27	Rated Volts	400.0	VAC	4000		400.0	0.0	6553.5	
28	Rated Amps	60.0	Amps	600		60.0	0.0	6553.5	
29	Control SW Ver	5.001		5001		5.001	0.000	65.535	
40	Motor Type	Induction		0		Induction	Induction	Synchr PM	
41	Motor NP Volts	400.0	VAC	4000		400.0	0.0	690.0	
42	Motor NP FLA	35.0	Amps	350		55.0	0.0	3200.0	
43	Motor NP Hertz	50.0	Hz	500		50.0	5.0	500.0	
44	Motor NP RPM	2915	RPM	1650		1480	60	30000	
45	Motor NP Power	16.50		1		30.00	0.00	412.48	
46	Mtr NP Pwr Units	kiloWatts		1		kiloWatts	Horsepower	kiloWatts	
47	Motor OL Hertz	16.6	Hz	166		16.6	0.0	500.0	
48	Motor OL Factor	1.00		100		1.00	0.20	2.00	

FIGURA 30 – Parametrização do PowerFlex 70 e do adaptador ControlNet

Após a instalação do PF70 não ocorreram mais perdas relacionadas à bomba de vácuo em questão, pois a produção de vácuo mantém-se constante e em padrões que atendem à necessidade do processo. A corrente e a temperatura do MIT permanecem em valores muito bons e não ocorreram mais perdas por motores queimados nesta bomba de vácuo.

O projeto atendeu a expectativa da empresa, pois após a implantação do mesmo a produtividade das linhas de produção não foi mais afetada por perdas neste processo em qual o equipamento em questão está envolvido. Perda 100% eliminada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse projeto mostrou-se extremamente positivo no que diz respeito ao objetivo estipulado em seu início, que consistia em encontrar a causa raiz do problema através da análise e estudo do processo afetado. Encontrada a causa raiz, existia também o objetivo de realizar as modificações necessárias na linha de produção para solucionar o problema, documentar e padronizar a solução encontrada.

Todos os objetivos foram atingidos, a perda neste processo foi eliminada e a produtividade das linhas de produção deixou de ser afetada por perdas relacionadas ao mesmo.

Além dos objetivos, devido à qualidade e a eficiência do projeto, a instalação do inversor de frequência para controle desta bomba de vácuo passou a ser um item padrão na fabricação deste modelo de linha de produção de fraldas. Isto pode ser considerado como o maior reconhecimento de um projeto bem feito, desde o estudo do processo, passando pela proposta e desenvolvimento da solução, até a instalação definitiva do equipamento.

Com o pacote desenvolvido para reaplicação em outras linhas, foi possível para os departamentos de engenharia de todas as plantas da Procter & Gamble realizarem a instalação do equipamento, sem problemas, comprovando a qualidade do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN BRADLEY. **20-COMM-C/Q CONTROLNET ADAPTER**. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rn/20comc-rn004_-en-p.pdf>. Acesso em 11 out. 2012.

ALLEN BRADLEY. **CONTROLLOGIX ENHANCED REDUNDANCY SYSTEM**. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um535_-en-p.pdf>. Acesso em 09 abr. 2012.

ALLEN BRADLEY. **MANUAL POWER FLEX 70 AC**. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/20a-um001_-en-p.pdf>. Acesso em 11 out. 2012.

ALLEN BRADLEY. **RSLOGIX 5000**. Disponível em: <<http://www.intereng.com.br/produtos/rockwell-software/design-e-configuracao/rslogix-5000>>. Acesso em 11 out. 2012.

AMERICAN VACUUM SOCIETY. **HISTORY OF VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY**, published in the 30th Anniversary of AVS, 1984.

ANDRADE, Darizon A. **ACIONAMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS**. Disponível em: <http://www.feelt.ufu.br/pastas/Controle_de_motores/Acionamento_freq_var.pdf>. Acesso em 26 mai. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5280. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**. Rio de Janeiro, 2004.

CARVALHO, Geraldo. **MÁQUINAS ELÉTRICAS – TEORIAS E ENSAIOS**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2011.

DEL TORO, Vincent. **FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS**. Unica ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1999.

ELMO RIETSCHLE. **DATA SHEET 2BH1 910**. Disponível em: <http://www.gd-elmorietschle.com/uploadedFiles/Elmo-Rietschle/Downloads/Content_G/DaBIFC/2BH1910_FC_en.pdf>. Acesso em 19 ago. 2012.

FAATESP. **MÁQUINAS ASSÍNCRONAS**. Disponível em: <http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/maquinas_assincronas.pdf>. Acesso em 15 mar. 2012.

FERREIRA, Aurélio Buarque Holand. **NOVO DICIONÁRIO AURÉLIO**, ed. Nova Fronteira, 1ª Ed, 14ª Impressão, Rio de Janeiro, sem data.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR, C.; KUSKO, A. - **MÁQUINAS ELÉTRICAS**. 6^o Ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.

FRANCHI, Claiton Moro. **ACIONAMENTOS ELÉTRICOS**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008.
JOSEPHSON, Matthew. **THE INVENTION OF THE ELECTRIC LIGHT**. Scientific American, 201, 5, 98 (1959).

LAPP GROUP. **DATA SHEET 280804CY**. Disponível em:
<<http://lappbrasil.lappgroup.com/nc/pdf-generation.html?pageID=760327>>. Acesso em 29 set. 2012.

MARTIGNONI, Alfonso. **ENSAIOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS**. 2. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 162 p.

MARTIGNONI, Alfonso. **MÁQUINAS DE CORRENTE ALTERNADA**. Porto Alegre: Globo, 1973. 410 p.

MOELLER. **DATA SHEET DILM65 (RDC24)**. Disponível em:
<<http://datasheet.octopart.com/DILM65%28RDC24%29-Moeller-datasheet-509415.pdf>>. Acesso em 19 ago. 2012.

MOELLER. **DATA SHEET PKZM4-63**. Disponível em:
<http://datasheet.moeller.net/datasheet.php?model=222413&locale=en_GB >. Acesso em 19 ago. 2012.

MOREIRA, Heloi José Fernandes. **MÁQUINAS ELÉTRICAS**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1984. 217 p. (Coleção Shaum).

MOTT-SMITH, Morton. **PRINCIPLES OF MECHANICS SIMPLY EXPLAINED**. Revised Edition, Dover Publications, New York, 1963.

Nash Elmo Rietschle Industries. **APRESENTA MANUAIS, FIGURAS E ANIMAÇÕES SOBRE BOMBAS DE VÁCUO**. Disponível em: <<http://www.gd-elmorietschle.com.br>>. Acesso em 12 fev. 2012.

PIRES, Waldiberto Lima. **MANUAL TÉCNICO DE MOTORES DE INDUÇÃO ALIMENTADOS POR CONVERSORES DE FREQUÊNCIA PWM**. Santa Catarina: 2009. 67 p.

PRAXEDES, Marcos Fernando. **A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS - MIT**. 2011, 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2011.

SENAI. **APRESENTA APOSTILAS, FIGURAS E ANIMAÇÕES SOBRE MÁQUINAS ELÉTRICAS E SEUS ACIONAMENTOS**. Disponível em:
<www.sp.senai.br/ensino/eletroeletronica>. Acesso em 12 fev. 2012.

WAYMOUTH, John F. **LIGHT SOURCES**, publ. Encyclopedia of Lasers and Optical Technology, Robert A. Meyers, Ed., pg. 227, Academic Press, San Diego, 1991.

WEG. GUIA TÉCNICO - MOTORES DE INDUÇÃO ALIMENTADOS POR INVERSORES DE FREQUÊNCIA PWM. Disponível em:
<<http://dc176.4shared.com/doc/iQYKTMel/preview.html>>. Acesso em 26 mai. 2012.