

CAPÍTULO IV

O SIMULADOR DA ECLUSA DE DESCARGA DE SECADOR DE CEREAIS

4.1 Apresentação do protótipo

Objetivando a validação teórica experimental do projeto em estudo, construiu-se um protótipo de um Simulador da eclusa de descarga de um secador de cereais utilizando-se um MIL como acionamento, para que se pudesse obter alguns dados para o equipamento em operação. Os parâmetros elétricos do MIL foram obtidos de [Thé Pontes, 2003], conforme citado no capítulo anterior, e também foi verificado o comportamento do MIL sob condição de operação à vazio, devido ao fato de que o equipamento trabalhando com carga apresentou condições de funcionamento semelhantes. Foi analisado o comportamento elétrico do MIL na aquisição das formas de onda de tensão e corrente, nos regimes de ciclo completo, nas fases inicial, intermediária e final, de operação no Simulador, para que fosse possível determinar a potência do MIL durante o regime de operação, assim como a energia consumida durante este ciclo. Foi feito também, medições da força propulsora do MIL com a tomada de medição na estrutura da eclusa do Simulador, para que se pudesse ter um parâmetro do valor de força desenvolvida pelo MIL, e estabelecer comparações com a força produzida pelo acionador do Sistema Convencional.

4.2 Introdução

Foi desenvolvido e construído um equipamento com escala reduzida em capacidade de fluxo, para que se pudesse fazer a simulação de descarga de um secador de cereais, dentro da área de oficina mecânica da BAGEL. Neste equipamento denominado de Simulador da eclusa de descarga de secador de

cereais, utilizou-se um MIL trifásico em substituição ao Sistema Convencional com pistão pneumático utilizado nos secadores atuais do complexo do Armazém 11 da BAGEL. O MIL utilizado foi o protótipo desenvolvido na tese de doutorado de Ricardo Thé Pontes, 2003, e com as devidas adaptações foi aplicado como acionador da eclusa de descarga do Simulador.

A Figura 4.1 mostra detalhes construtivos do Simulador em estudo.

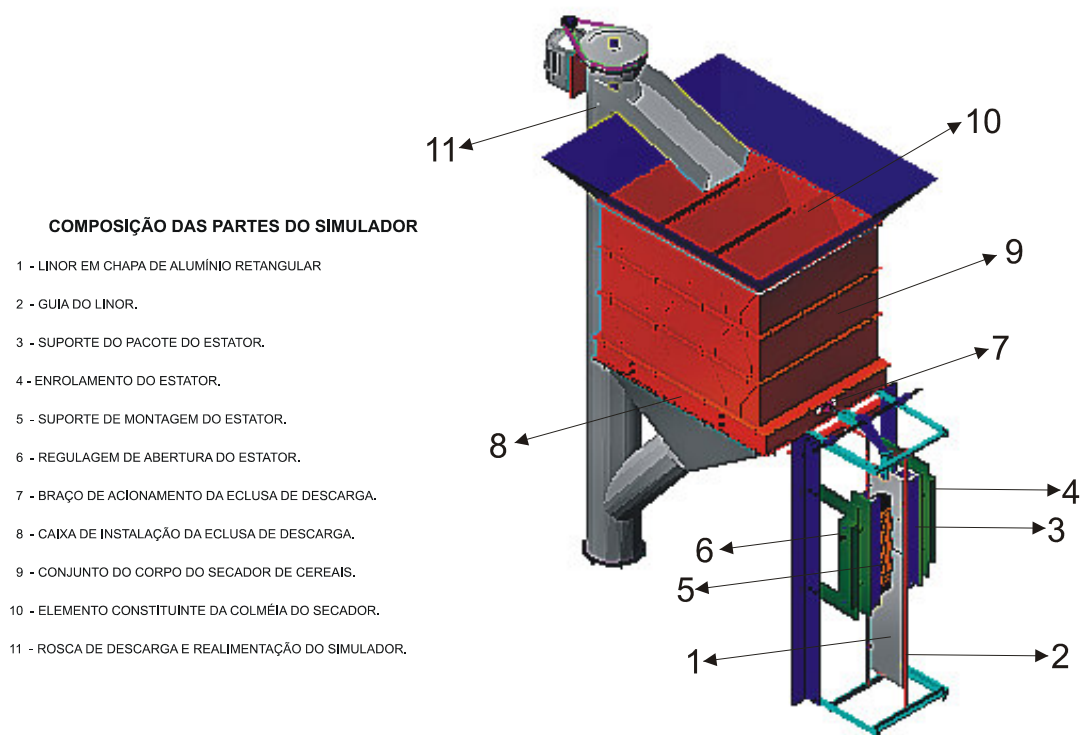


Figura 4.1 - Detalhes Simulador da eclusa de descarga secador de cereais

O objetivo do estudo apresentado é a aplicação do MIL como acionamento da eclusa de descarga do Simulador, e sendo assim neste capítulo está sendo apresentando detalhes construtivos do Sistema Proposto.

O Simulador tem dimensões físicas de altura aproximada de 2200 mm, correspondendo ao comprimento da rosca transportadora helicoidal, instalado na vertical, o conjunto da caixa superior com 780 mm de comprimento, 590 mm de largura e altura aproximada de 590 mm, com capacidade volumétrica de 120 kg de cereal (soja ou milho), e capacidade de fluxo aproximada de 600 Kg/h.

A Figura 4.2 mostra detalhes construtivos do MIL, e a forma de adaptação da montagem do mesmo, para utilização neste estudo.

Foram instaladas duas barras com a função de guias, para evitar que o corpo do linor quando em repouso ficasse apoiado lateralmente no estator. O MIL foi montado com a opção do regulador mecânico de abertura para o entreferro, de forma a facilitar a adaptação do MIL à estrutura do Simulador e ajustar o ponto ideal de funcionamento. Foi instalada também uma alavanca multiplicadora de força, para que o Simulador pudesse receber a força necessária do MIL, no processo de abertura da eclusa.

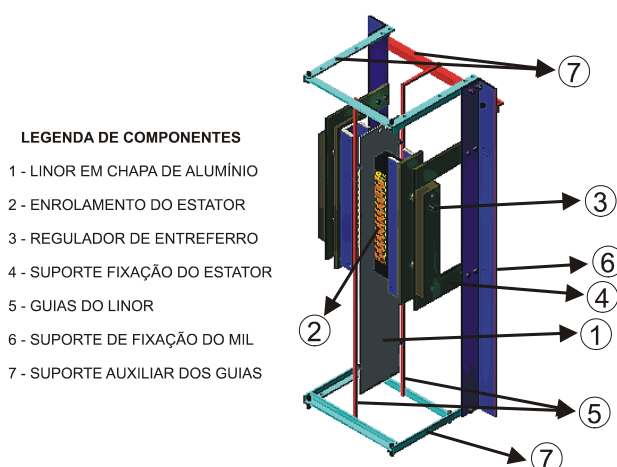


Figura 4.2 - Detalhes da adaptação do MIL na montagem do Simulador.

O MIL foi ligado à rede trifásica da concessionária (220 V, 60 Hz), com fechamento dos seus terminais na configuração delta paralelo, (Capítulo III, Figura 3.29), devido ao fato do mesmo na ligação original em duplo estrela não conseguir força suficiente para o acionamento do protótipo.

Como a proposta do funcionamento é somente para aplicação em pulsos de tensão e corrente, em pequenos intervalos de tempo o MIL aceitou esta configuração sem maiores problemas.

4.3 Descrição do princípio de operação do Simulador

O Simulador é composto por um sistema de caixa onde estão montadas perfis de chapas metálicas, montados em forma de calhas paralelas, que constituem o conjunto de elementos semelhante aos da torre de secagem de um

secador de cereais, denominados de colméias. Estas colméias também formam um perfil oco por onde passaria o ar quente utilizado para secagem do produto de forma semelhante ao descrito no item 2.4. O produto passa entre as colméias preenchendo todos os vãos abertos até encher a caixa do Simulador.

A eclusa do Simulador funciona da mesma forma que a eclusa de um secador no campo, controlando a abertura do reservatório que simula a torre de secagem, na parte inferior, em determinados intervalos de tempo que podem ser programados pelo painel de controle do equipamento.

No Simulador a cada ciclo, a eclusa se abre por um pequeno intervalo de tempo e o produto armazenado desce até o reservatório inferior, e retorna ao Simulador através de uma rosca transportadora helicoidal, como apresentado na Figura 4.1.

Como o objetivo abrange somente o estudo da passagem de produto pela eclusa do Simulador, foi montado somente um pequeno reservatório, uma vez que a montagem de uma torre de secagem, mesmo miniaturizada, poderia atingir cerca de seis metros de altura, tornando a montagem do Simulador inviável.

No campo a eclusa acionada pelo pistão pneumático exige uma força que chega a 1500 N, daí a dificuldade de dimensionar corretamente o MIL para essa condição.

O Simulador é uma miniaturização do sistema de descarga de um secador utilizado no campo, portanto neste modelo ele deve operar da mesma forma que o sistema de campo. As Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 mostram o esquema de como o equipamento opera nas condições de funcionamento.

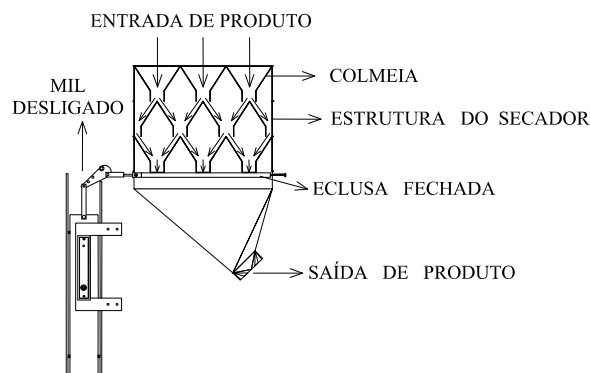


Figura 4.3 - Esquema de funcionamento do Simulador com eclusa fechada

A Figura 4.4 mostra detalhe de ligação do acoplamento mecânico do linor à eclusa do Simulador.

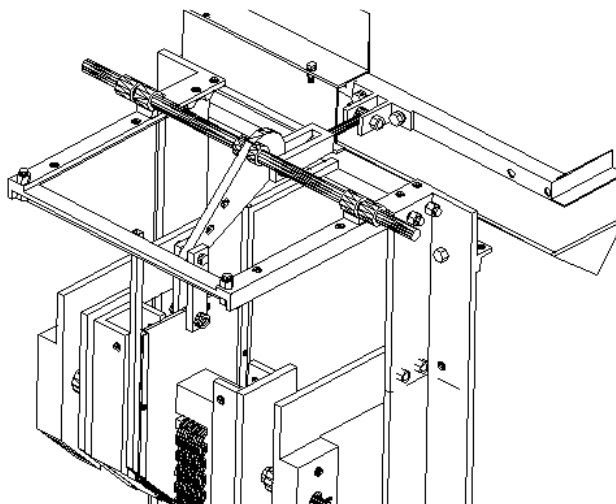


Figura 4.4 – Detalhe do acoplamento mecânico entre o linor e a eclusa.

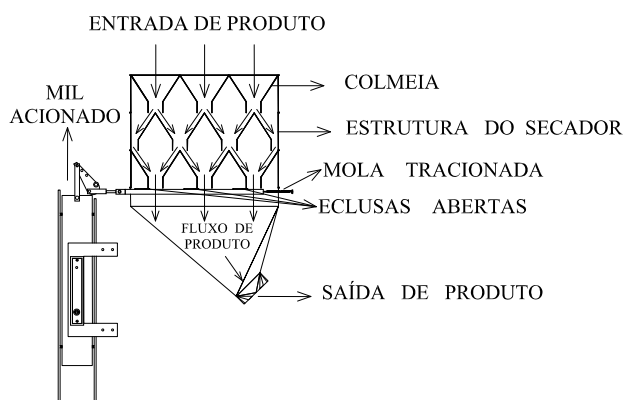


Figura 4.5 - Esquema de funcionamento do Simulador com eclusa aberta.

4.4 Parâmetros obtidos do MIL no simulador em operação

A determinação dos parâmetros do MIL, está baseada nos ensaios de acordo com a montagem experimental apresentada na Figura 4.6, bem como os necessários equipamentos de medição.

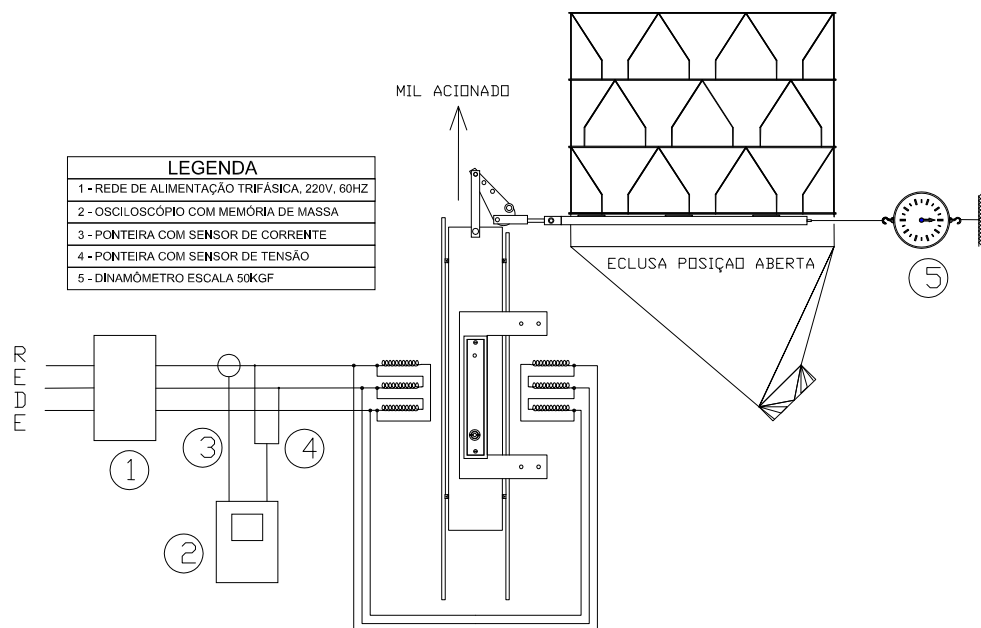


Figura 4.6 - Montagem esquemática para os ensaios.

A Figura 4.6 mostra a bancada de ensaios composta de alimentação trifásica senoidal 220V, 60Hz, com as medições efetuadas por um osciloscópio com memória de massa de fabricação TEKTRONIX, Modelo THD HS720 STD, 100 MHz, dois canais, equipado com dois sensores, de corrente e tensão, e a estrutura do corpo da eclusa ligada mecanicamente a um dinamômetro de escala 50 Kgf.

As figuras a seguir, apresentam as ondas de tensão e corrente, obtidas em ensaios no ciclo completo, nas fases inicial, intermediária e final, para obtenção da potência e energia consumida pelo MIL, em operação no Simulador.

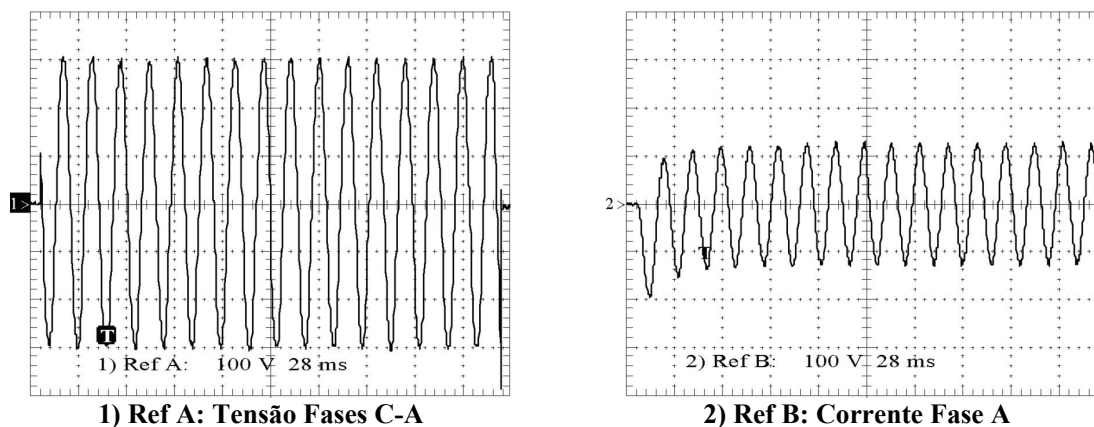
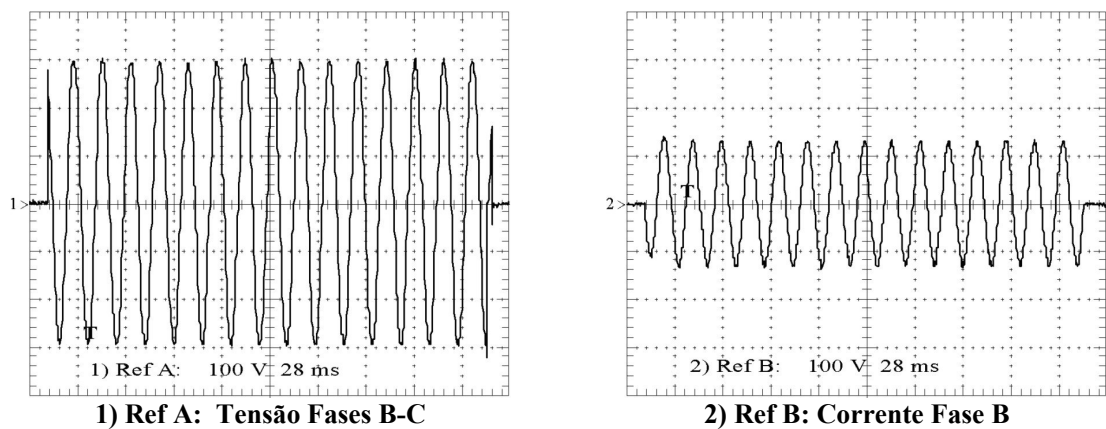


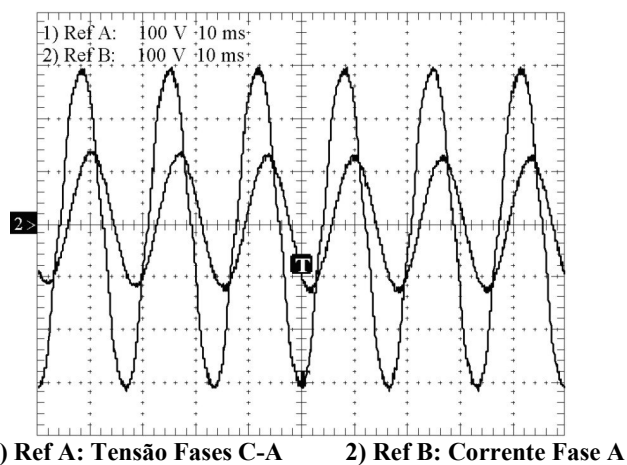
Figura 4.7 - Forma de onda tensão e corrente, fases A-C ciclo completo.



1) Ref A: Tensão Fases B-C

2) Ref B: Corrente Fase B

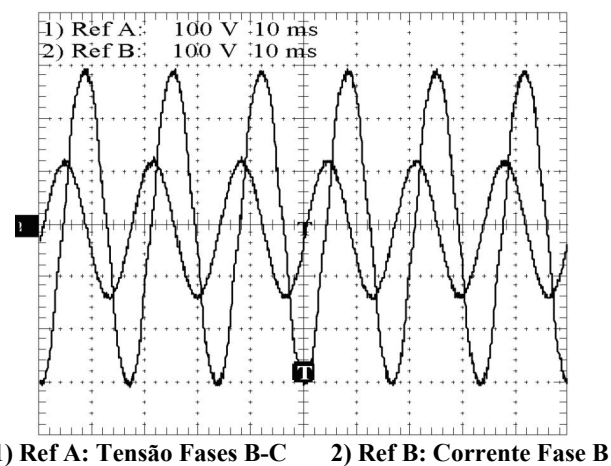
Figura 4.8 - Forma de onda tensão e corrente, fases B-C ciclo completo.



1) Ref A: Tensão Fases C-A

2) Ref B: Corrente Fase A

Figura 4.9 - Forma de onda tensão e corrente, fases A-C fase intermediária.



1) Ref A: Tensão Fases B-C

2) Ref B: Corrente Fase B

Figura 4.10 - Forma de onda tensão e corrente, fases B-C fase intermediária.

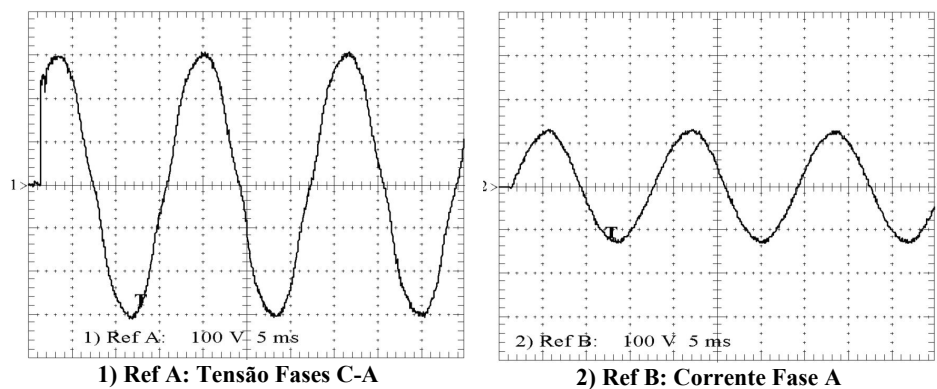


Figura 4.11 - Forma de onda de tensão e corrente, fases C-A fase inicial.

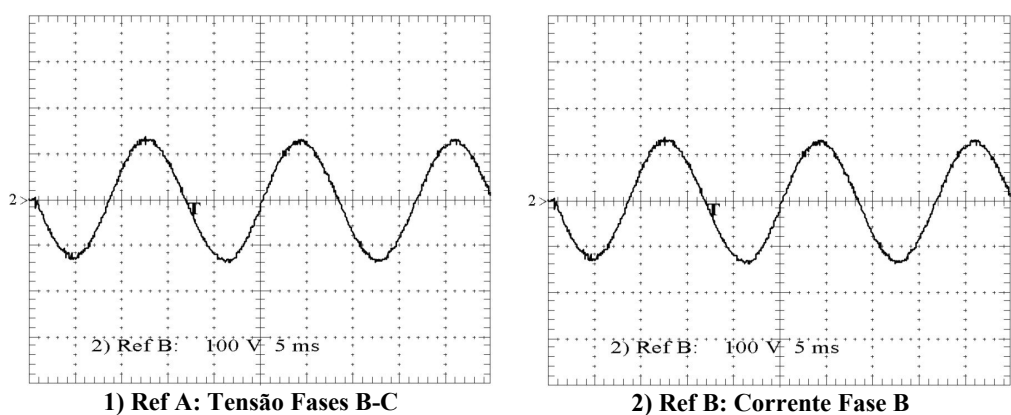


Figura 4.12 - Forma de onda de tensão e corrente, fases B-C fase inicial.

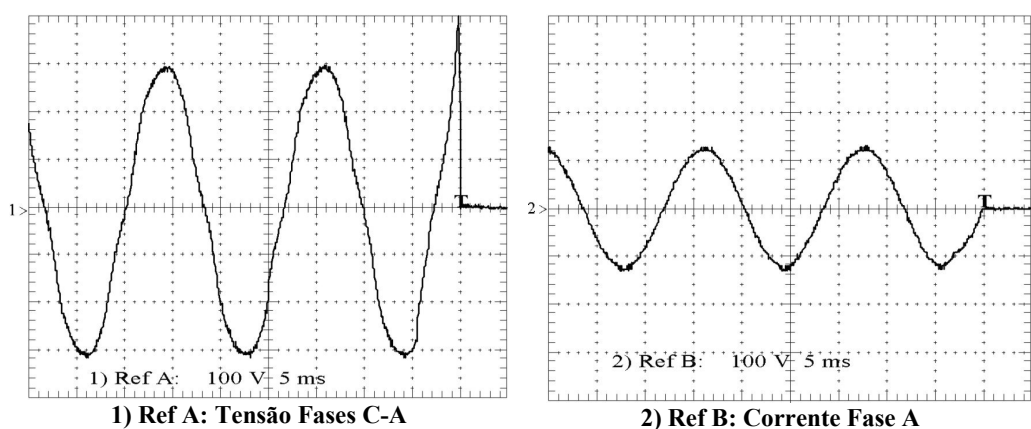


Figura 4.13 - Forma de onda de tensão e corrente, fases C-A fase final.

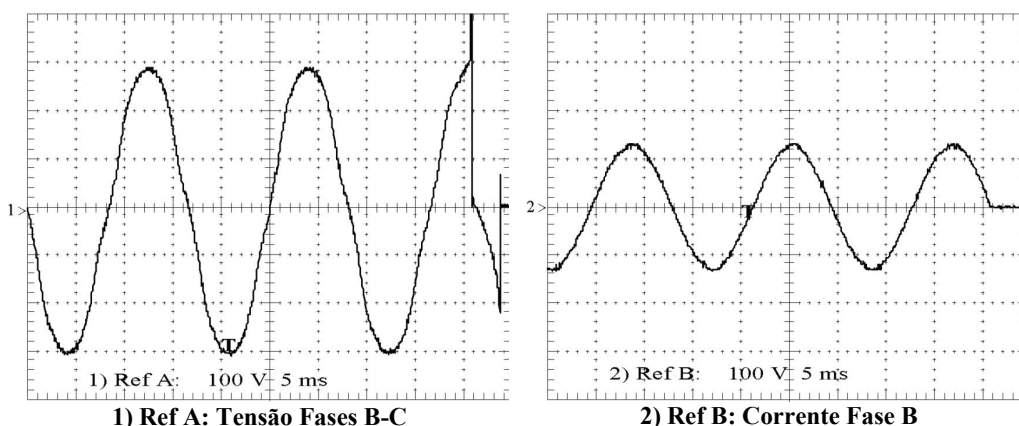


Figura 4.14 - Forma de onda de tensão e corrente, fases B-C fase final.

As formas de onda apresentadas nas Figuras 4.7 a 4.14, se referem às fases C-A e B-C para as ondas das tensões, e às fases A e B para as ondas de correntes.

O método adotado para obtenção dos dados dos ensaios foi o método dos 02 Wattímetros, utilizando-se a fase C como referência.

Foram efetuadas também, medições da força propulsora desenvolvida pelo MIL, com tomadas de medição no linor e na estrutura da eclusa do Simulador.

4.5 Resultados obtidos do Simulador com o MIL em operação

Das Figuras 4.7 a 4.14, e dos dados obtidos no ensaio do MIL acionando a eclusa de descarga do Simulador, chegou-se aos resultados apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2. Os dados foram importados para um micromputador e revelados pelo software WaveStar Version 1.2.2.

Os dados obtidos foram processados por um programa de integração numérica, desenvolvido em linguagem C, pelo Laboratório de Máquinas Elétricas da Universidade Federal de Uberlândia - MG.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados finais dos dados processados pelo programa de integração numérica, extraídos das medições dos ensaios, para o MIL acionando a eclusa do Simulador.

RESULTADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DOS 02 WATÍMETROS	
GRANDEZAS	VALORES
Tensão eficaz fases C-A	215,090897 V
Tensão eficaz fases B-C	211,094604 V
Corrente eficaz fase A	8,890188 A
Corrente eficaz fase B	9,210502 A
Potência Ativa fases C-A	1428,480957 W
Potência Ativa fases B-C	320,0769650 W
Potência Reativa fases C-A	1271,198486 VAR
Potência Reativa fases B-C	1917,760010 VAR
Fator de potência fases C-A	0,747036
Fator de potência fases B-C	0,164624
Força medida na eclusa	23 KGF

Tabela 4.1 - Resultados obtidos para o MIL com o Simulador em operação.

RESULTADOS OBTIDOS FINAL	
GRANDEZAS	GRANDEZAS
Potência Ativa Total	1748,557922 W
Potência Reativa Total	3188,958496 VAR
Fator de potência	0,480784885
Tensão nominal aplicada	220 V
Força máxima aplicada na eclusa	23 KGF
Tempo máximo de operação	0,2 segundos
Energia consumida por pulso	0,097142106 Wh
Temperatura de operação	30 °C

Tabela 4.2 - Resultados obtidos para o MIL das medições no Simulador.

Dos gráficos apresentados nas Figuras 4.7 a 4.14, podemos verificar que:

- Não houve queda de tensão acentuada durante o processo de partida e parada do MIL.
- Da mesma forma, a rampa da corrente de partida causa poucas perturbações no sistema.
- Não foi verificada influência expressiva devido a presença de transitórios de corrente ou tensão durante a partida do MIL.

- No regime permanente do MIL as tensões e corrente permanecem estáveis.
- No final do ciclo de funcionamento da eclusa o MIL não apresenta transitórios de corrente.
- O fator de potência muito baixo do MIL, é devido às características construtivas do MIL.
- A força obtida na eclusa do Simulador (23 Kgf) é um valor bem menor em relação ao esperado.
- A energia consumida pelo MIL em cada ciclo de descarga foi um valor baixo, devido ao fato da operação do mesmo se proceder em pequenos intervalos de tempo.

A Figura 4.15 apresenta uma foto do Simulador no local de sua construção dentro da oficina da BAGEL.



Figura 4.15 – Fotografia do Simulador dentro da oficina mecânica da BAGEL.

CAPÍTULO V

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA CONVENCIONAL E O SISTEMA PROPOSTO

5.1 Descrição funcional do Sistema Convencional

A Figura 5.1, apresenta o diagrama funcional de comando e acionamento para o Sistema Convencional descrito no Capítulo II, no item 2.4.

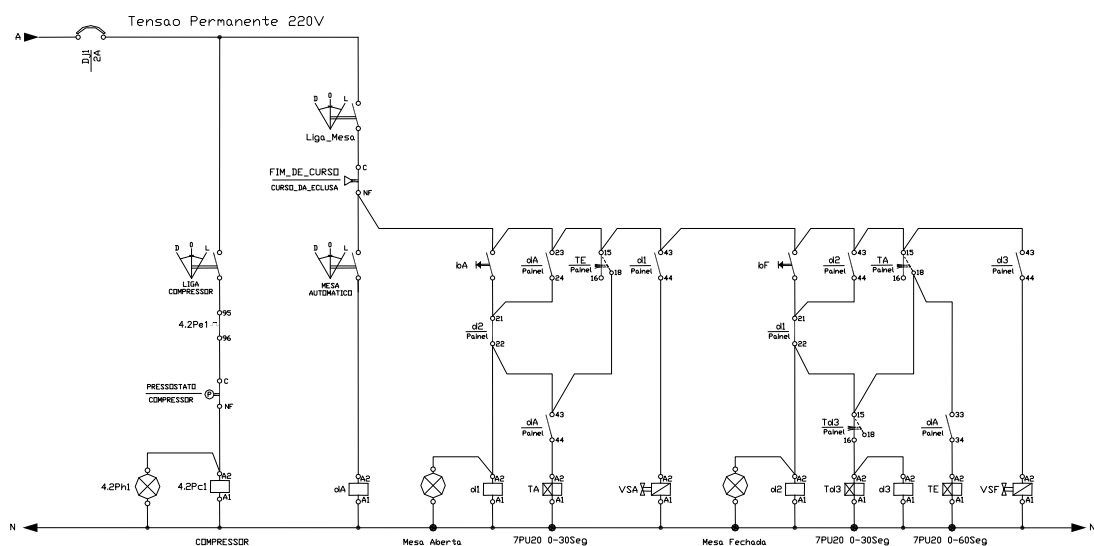


Figura 5.1 - Diagrama elétrico funcional da eclusa no Sistema Convencional.

Na descrição de funcionamento, tem-se um sistema de controle e acionamento para o conjunto do compressor, habilitado por um pressostato, o qual é calibrado para atuar o motor do compressor sempre que a pressão do reservatório estiver abaixo de 100 Psi, e desligá-lo quando a pressão exceder 125 Psi. Um fim de curso atua como sistema de segurança para que o curso da eclusa não ultrapasse os seus limites mecânicos de atuação. Dois relés auxiliares atuam na válvula solenóide de cinco vias que controla o pistão pneumático na abertura e fechamento da eclusa. Estes relés são habilitados por três relés temporizados, que controlam o tempo e o retardo de abertura e o outro o tempo em que a eclusa

permanece fechada. A calibração dos tempos de abertura, retardo e fechamento da eclusa, devem ser feitos com o equipamento em operação, e realizados por pessoal especialmente treinados e profundos conhecedores do processo de descarga dos secadores para que a operação do sistema funcione de forma eficiente.

5.2 Descrição do sistema utilizando motor de indução linear

No Sistema Proposto foi instalado um MIL substituindo o pistão pneumático e todos os itens descritos na Figura 2.3, Capítulo II, foram retirados para a montagem do novo sistema. A adaptação mecânica do MIL foi efetuada de forma simples. O painel de comando e acionamento utilizado no Sistema Convencional foi simplificado, com reaproveitamento dos componentes na elaboração e montagem do painel do Sistema Proposto, uma vez que o diagrama funcional se tornou mais simples.

O sistema utilizando motor linear está esquematizado na Figura 5.2 e o diagrama funcional de comando e acionamento está apresentado na Figura 5.3.

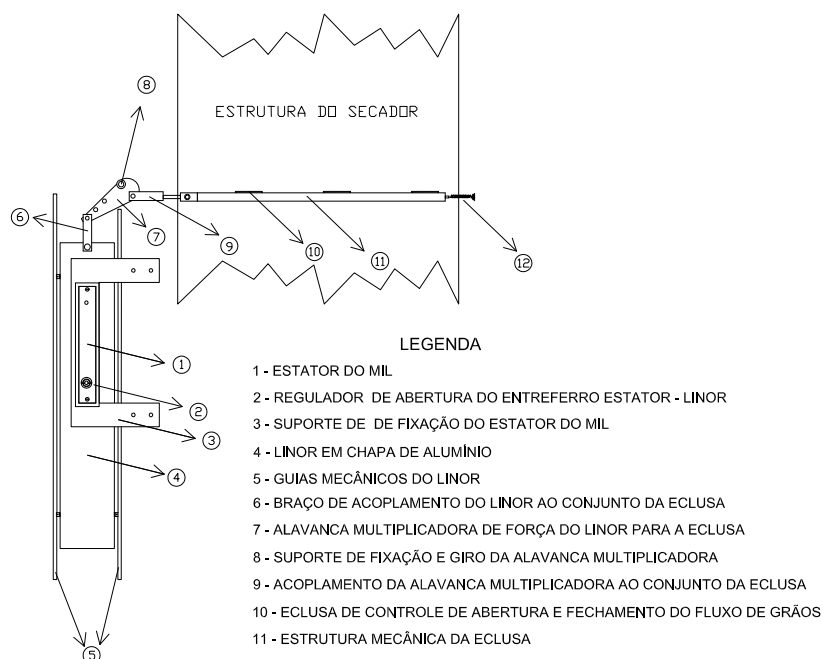


Figura 5.2 - Esquema de funcionamento da eclusa utilizado o MIL

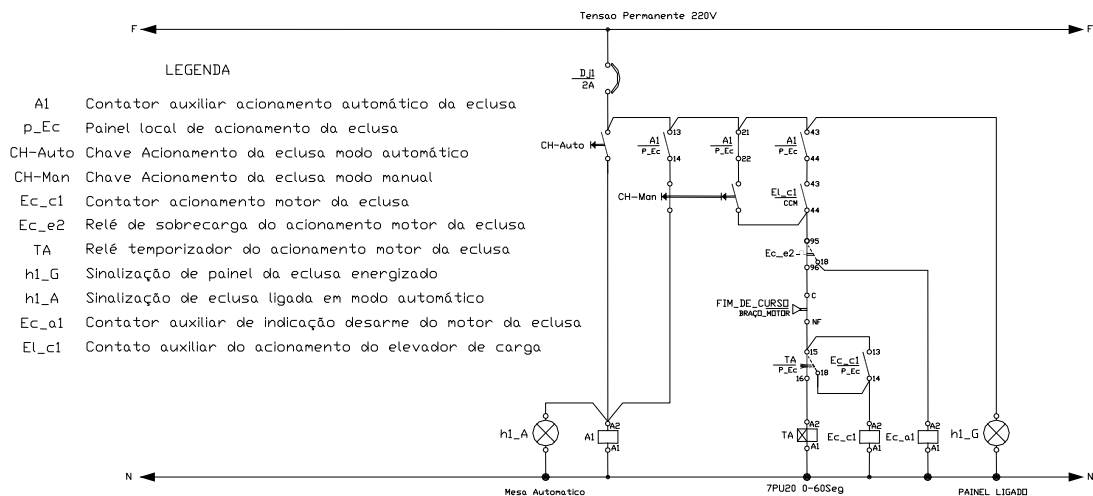


Figura 5.3 - Diagrama elétrico funcional de controle da eclusa do Sistema Proposto

Verifica-se que o diagrama funcional da Figura 5.3, tornou o sistema de controle extremamente simples, com muito menos componentes, e conseqüentemente com baixo índice de pontos potenciais de defeitos, quando comparado com o diagrama apresentado na Figura 5.1.

Analisando o diagrama funcional para o Sistema Proposto, verifica-se que se tem a alimentação do controle e acionamento da eclusa pelo MIL, habilitada por um relé auxiliar que possibilita o sistema funcionar no modo manual ou automático. Um fim de curso com o atuador instalado no linor, atua como sistema de segurança e controle para que a eclusa não ultrapasse o seu curso mecânico ao ser acionada pelo MIL. A abertura e fechamento da eclusa é efetuada pelo ato de liga e desliga do contator de acionamento de força do MIL. Um relé temporizado comanda o tempo do ciclo de acionamento do MIL que por sua vez controla o tempo da operação da eclusa de descarga. A calibração do tempo do ciclo da eclusa é muito simples de ser executada e pode ser feita por pessoal sem treinamento especializado.

5.3 Análise comparativa entre os dois sistemas

Visando apresentar dados que justificassem a elaboração dos objetivos propostos neste trabalho, foram feitos levantamentos das paradas do processo do

sistema que envolve os equipamentos que compõem o fluxo de recebimento, secagem e armazenagem do Armazém 11 da BAGEL – ARMAZÉNS GERAIS BOM JESUS LTDA.

Os levantamentos foram extraídos das solicitações de manutenção, do tipo apresentada na Figura 5.5, efetuadas pela área do Setor Operação e Produção, ao Setor de Manutenção, para as paradas de processo originadas por problemas no acionamento da eclusa de descarga dos secadores, que utilizam o acionamento pelo Sistema Convencional.

SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO		Nº
CAPACETE DE SEGURANÇA: USO OBRIGATORIO NA AREA OPERACIONAL		1
GRAU DE PRIORIDADE DO SERVIÇO SOLICITADO		1
☒ 1 Emergência ☐ 2 Para Hoje ☐ 3 Para amanhã ☐ 4 Serviço a programar		
Local:	BAGEL Matriz: Armazém 11	Encarregado: Nilton Cesar Arantes
Produto:	Milho	
Solicitação de Manutenção	Data: 15/02/2001	Horário: 18:30hs
Verificar problema na mesa do secador 01, porque ela parou travada aberta, e embuchou a rosca de descarga e o elevador de alimentação do secador 01.		
Pendências: Buscar eletricitista de manutenção que está de folga.		
Providenciar pendente para execução do serviço, pois a iluminação do local está em péssimas condições.		
Providenciar EPIs necessários e demarcar local de manutenção.		
Execução do serviço solicitado		Data: 15/02/2001 Início: 19:20hs
Foram trocados as borrachas de vedação do copo de drenagem de água no filtro lubrificador de ar da linha do compressor do Secador 01, que se danificaram devido ao excesso de água no reservatório do compressor.		
ÁREA DE PRODUÇÃO		ÁREA DE MANUTENÇÃO
Término do serviço:	22:10hs	Horas Normais :
Horas Paradas:	3:40hs	Horas Extras :
		0:00hs
		2:50hs
Nilton César Arantes Solicitante		Roberto Felizardo da Silva Executante(s)

Figura 5.5 - Modelo de Solicitação de Manutenção utilizado na BAGEL.

Resumo das paradas da safra 2000/2001	
BAGEL – Matriz, Armazém 11	Produto: Milho
Resumo de horas paradas no processo	36:10 Horas
Perda estimada de produção	2.000 Toneladas
Prejuízo estimado de recebimento	U\$ 12.000

Tabela 5.1 - Resumo paradas BAGEL – Matriz, Armazém 11 safra 2000/2001

Resumo das paradas da safra 2001/2002	
BAGEL – Matriz, Armazém 11	Produto: Soja
Resumo de horas paradas no processo	28:00 Horas
Perda estimada de produção	1.500 Toneladas
Prejuízo estimado de recebimento	U\$ 10.000

Tabela 5.2 - Resumo paradas BAGEL – Matriz, Armazém 11 safra 2001/2002

Resumo das paradas da safra 2002/2003	
BAGEL – Matriz, Armazém 11	Produto: Soja
Resumo de horas paradas no processo	23:00 Horas
Perda estimada de produção	1.200 Toneladas
Prejuízo estimado de recebimento	U\$ 8.000

Tabela 5.3 - Resumo das paradas BAGEL – Matriz, Armazém 11 safra 2002/2003

As Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, apresentam relatórios resumidos das principais paradas de processo, referentes a problemas ou defeitos decorrentes no sistema de acionamento da eclusa dos secadores que compõem o sistema de armazenagem de cereais, do Armazém 11 da BAGEL nos anos 2001, 2002, 2003 respectivamente.

O Simulador foi projetado para operação com fluxo de produção de aproximadamente 6 toneladas de produto por hora, o que corresponde a uma capacidade dez vezes menor do que a do equipamento de campo.

Um secador de cereais com capacidade de 60 toneladas de produto por hora, com acionamento da eclusa de descarga pelo Sistema Convencional, utiliza um conjunto constituído por um compressor de 10 pés cúbicos por hora, motor elétrico trifásico de 4 CV, 4 polos, uma válvula solenóide de 04 ou 05 vias e um pistão pneumático de curso aproximadamente 14 cm, com êmbolo de 7 cm de diâmetro.

No Simulador utilizando um MIL de pequena potência o sistema do conjunto compressor foi substituído por um conjunto menor, capaz de acionar a eclusa do Simulador, utilizando um motor trifásico de potência 0,5 CV.

As Tabelas 5.4 e 5.5 e 5.6 apresentam análises comparativas para os dois sistemas.

Parâmetros utilizados	Sistema Convencional	Sistema Proposto
Motor (CV)	0,5	2,4
Fator de utilização	0,85	1
Nº operações por minuto	6	6
Nº operações por hora	360	360
Tempo de operação por dia (horas)	24	1,2
Período analisado em dias	30	30
Tarifa de energia (kWh ponta tarifa verde CELG)	0,88266	0,88266
Tarifa de energia (kWh fps tarifa verde CELG)	0,10808	0,10808
Tarifa de energia (kW tarifa verde CELG)	10,34	10,34
Consumo por acionamento em Wh	0,028	0,245
Consumo mensal em kWh	2,106	0,245
Custo mensal em R\$	29,54	3,44

Tabela 5.4 - Análise comparativa I, Sistema Convencional x Sistema Proposto.

Comparação de resultados obtidos considerando o Simulador em operação com Sistema Convencional e com o Sistema Proposto no período de 1 mês			
Parâmetros utilizados	Sistema Convencional	Sistema Proposto	Comparação
Potência do motor (CV)	0,5	2,4	-480%
Consumo (kWh)	228,42	63,50	360%
Custo da energia (U\$)	21,87	6,07	360%

Tabela 5.5 - Análise comparativa II, Sistema Convencional x Sistema Proposto.

Simulação de resultados esperados com a substituição do Sistema Convencional pelo Sistema Proposto nos 03 períodos anuais analisados			
Parâmetros utilizados	Sistema Convencional	Sistema Proposto	Comparação
Horas paradas (h)	87	10,75	809%
Perda Produtiva (Ton)	3700	700	528%
Valor das perdas (U\$)	30.000	5.000	600%

Tabela 5.6 - Análise comparativa III, Sistema Convencional x Sistema Proposto.

Os valores de custos e consumo de energia obtidos da operação do Simulador podem ser considerados reais, porque se aproximam muito dos resultados esperados e obtidos do sistema de campo, considerando-se as devidas escalas construtivas.

O valor de 10,75 horas de parada creditados ao Sistema Proposto na Tabela V.6, foram obtidos da utilização do sistema alternativo, desenvolvido pela equipe técnica do Departamento de Manutenção da BAGEL, apresentado no Capítulo II, Figura 2.4. A justificativa vem do fato de que o Sistema Proposto apresenta menos pontos de defeito, portanto pode-se admitir que os seus tempos de parada sejam iguais ou menores que os apresentados pelo sistema alternativo apresentado.

A composição das tabelas para os custos da energia foi feito tomando-se os valores de custos de fornecimento de energia da CELG (Companhia Energética de Goiás), referente ao mês de Abril de 2005, para consumidor, Horosazonal Subgrupo A4, modalidade Verde, incluído no benefício da Sazonalidade para utilização de energia.

A composição dos custos estimados para perdas de produção foi baseada nos contratos anuais entre a BAGEL e as empresas contratantes dos serviços para secagem e armazenagem, no valor de U\$ 7,5 por tonelada de produto.

Os cálculos foram efetuados tomando-se como referência a cotação do dólar em Abril de 2005, na proporção (U\$ 1 = R\$ 2,50).

Da Tabela 5.5 pode-se verificar comparativamente, que embora o protótipo utilize um MIL com potência 480% maior, em relação ao motor utilizado no Sistema Convencional, ele tem um consumo e um custo de energia elétrica aproximadamente 360% menor. A contribuição da demanda no custo final é muito pequena e por isso não foi computada nos cálculos, mas a mesma deverá ser levada em conta no caso do Sistema Convencional normal.

Dos dados obtidos das Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 verifica-se que o Sistema Convencional tem um potencial na proporção de oito para um possibilidades de defeitos em relação ao Sistema Proposto, o que traria em um valor em torno de 10:45 horas (Obtidos da utilização do sistema alternativo e creditados para o sistema Proposto, desenvolvido pela equipe técnica do Departamento de Manutenção da BAGEL), de parada em relação às 87:10 horas contabilizadas nos três períodos analisados. Consequentemente estas alterações acarretariam uma perda produtiva de 700 toneladas de produto (U\$ 5.000) no Sistema Proposto, contra as 3700 toneladas (U\$ 30.000), contabilizadas para o Sistema Convencional.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

6.1 Considerações sobre o projeto do Simulador

O Simulador foi projetado para simular o funcionamento da eclusa de um secador de cereais. Não foi considerada a pressão que a massa de grãos exerce sobre as bandejas do conjunto da eclusa. Mesmo assim não houve nenhum prejuízo na obtenção dos dados necessários ao seu funcionamento, que pudessem comprometer os resultados dos objetivos deste trabalho, uma vez que a proposta foi obter uma solução que apresentasse baixo índice de defeitos, constituição simples e robusta, baixa manutenção, inovação tecnológica, eficiência produtiva e energética.

Assim sendo as fontes geradoras de problemas que poderiam ocasionar paradas, estão concentradas nos seguintes locais:

- Sistema elétrico de alimentação.
- Acionamento e controle da eclusa de descarga.
- Acoplamento mecânico entre o MIL e a eclusa.
- Sistema mecânico estrutural da eclusa de descarga.
- Ajuste e operação do sistema de descarga.
- Subdimensionamento do motor linear para a força necessária.

Um dos itens descritos acima pode ser verificado na observação final do Capítulo IV, onde a força obtida na eclusa do Simulador (23 Kgf) é um valor bem menor em relação ao esperado (acima de 40 Kgf).

A adaptação do MIL à eclusa foi efetuada através de uma alavanca multiplicadora de força de relação (1:2,8). O valor da força obtido na barra do linor (15 Kgf) teve uma multiplicação muito pequena, devido ao fato de que na execução do projeto não houve preocupação com a minimização das perdas por atrito na articulação do acoplamento mecânico.

Outro fato verificado no Sistema Proposto foi que os motivos de parada foram reduzidos a somente seis possibilidades contra mais de quarenta, quando comparados ao Sistema Convencional.

Entretanto o MIL possui características particulares que devem ser obedecidas na adaptação para acionamento da eclusa de descarga dos Secadores de Cereais, e as principais podem ser identificadas como:

- Definição da velocidade de operação e força propulsora do MIL, uma vez que o tempo de abertura e fechamento da eclusa deve obedecer a critérios de tempo definidos (1,5 segundos).
- Definição da força propulsora de operação do MIL, considerando que a força aplicada pelo pistão pneumático no Sistema Convencional é considerada muito grande, acima de 1500 Newtons.
- O pistão pneumático é um equipamento de alto rendimento, sendo por isso, muito utilizado neste tipo de aplicações, visto que ocupa pequeno espaço físico, e é capaz de produzir forças elevadas com pequenas pressões de ar. Sendo assim o espaço do local da aplicação pode se tornar um problema para instalação, uma vez que o MIL com força equivalente ao pistão pneumático utilizado poderá ocupar um espaço físico bem maior que o existente atual.
- Para que se possa produzir a força de um pistão pneumático, utilizando um motor linear de forças pequenas, devido a problemas de espaço, devem-se utilizar braços mecânicos multiplicadores de força, o que pode ser um inconveniente, devido ao fato de ter que observar a influência do atrito, alinhamento e engrenamento nas articulações mecânicas.

6.2 Conclusões gerais

O acionamento da mesa por motores de indução linear passa a ser visto como uma ótima aplicação, com minimização de pontos de manutenção, visto que a maior parcela da potência utilizada na transmissão do movimento é realizada de forma a utilizar os rolamentos e mancais como sistema de guia e apoio para as

partes móveis, de forma que não exige esforços radiais e axiais como acontece no motor de indução rotativo, diminuindo assim os desgastes das partes mecânicas.

Sobre o MIL, podemos concluir que em relação à proposta inicial para elaboração deste trabalho, se observado as suas características pode vir a ser uma ótima solução para obtenção de melhoria de resultados na área da descarga de secadores de cereais.

O fato do MIL operar em pulsos com intervalos de curta duração, possibilitou o mesmo ser ligado em uma tensão superior (delta paralelo), em relação ao seu projeto inicial (estrela paralelo), possibilitando assim a geração de forças propulsoras maiores.

A possibilidade da operação do MIL em pulsos de tensão e corrente em pequenos intervalos de tempo, fez com que o Sistema Proposto pudesse apresentar menor consumo de energia, comparado ao Sistema Convencional.

As diferenças apresentadas na diminuição dos tempos de parada, apresentam aumento de ganho operacional e produtivo, com valores que viabilizam o investimento para realização de modificações do Sistema Convencional para o Sistema Proposto.

Sobre o projeto do Simulador utilizando o MIL como acionamento da eclusa de descarga, podemos concluir que o mesmo atendeu perfeitamente os objetivos da proposta deste trabalho, para os critérios apresentados de:

- Diminuir o índice de defeitos
- Constituição simples e robusta
- Baixa manutenção.
- Inovação tecnológica para o setor.
- Melhoria produtiva e
- Diminuição do consumo de energia.

6.3 Proposta para trabalhos futuros

Durante a realização deste trabalho, vários pontos foram levantados com alguns questionamentos que poderão servir de base para trabalhos futuros que poderiam abranger:

- Análise da interferência do MIL no sistema elétrico da automação de processos na rede de comunicação de dados, nos critérios da Qualidade de Energia.
- A operação do MIL em regime de funcionamento por pulsos de tensão e corrente de curta duração, trouxe a possibilidade do mesmo ser ligado em uma tensão acima da tensão de projeto e assim produzir forças bem superiores às verificadas nos trabalhos anteriores. Entretanto não foi possível estabelecer os limites deste tipo de aplicação.
- A utilização do MIL como solução para economia de energia.
- Como o MIL dispensa o uso de acessórios mecânicos, a sua utilização em substituição aos atuadores lineares pneumáticos poderia trazer grandes resultados na diminuição dos tempos de manutenção.
- Existem várias empresas que utilizam atuadores a motores lineares, entretanto há pouca tecnologia dos mesmos aplicados a posicionadores.
- Projeto de um sistema de secagem de cereais completo com atuadores lineares, comando e controle por CLP, com estimativa de custos de implantação e manutenção.
- Operação continuada do sistema de secagem de cereais para estudar as características de manutenção.
- Instalar um “encoder” linear para analisar melhor o desempenho.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Thé Pontes, Ricardo S. Modelagem do motor de indução linear baseando-se na equivalência com o motor rotativo. Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2003. Tese de doutorado.

[2] CREPPE, R. C. Uma Contribuição a Modelagem de Máquinas de Indução Lineares. Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) 1997. Tese de doutorado.

[3] CREPPE, R. C. Circuito Elétrico Equivalente para Conversores Assíncronos Lineares. Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) 1992. Dissertação de Mestrado.

[4] SIMONE, G.A. Uma contribuição ao Estudo dos Conversores Assíncronos Lineares. Uberlândia - MG. Universidade Federal de Uberlândia, 1989. Dissertação de Mestrado.

[5] SIMONE, G. A. Máquinas de Indução Trifásicas: Teoria e Exercícios. São Paulo: Editora Érica, 2000.

[6] SIMONE, G. A. Conversores Assíncronos Lineares de Dupla Face – Teoria e Projeto. Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) 1992. Tese de Doutorado.

[7] LAITHWAITE, E. R. Linear Electric Machines – A personal view Proceedings of the IEEE, v. 63, n. 2, p. 250-290, 02-1975.

[8] YAMAMURA, S. Theory of Linear Induction Motors. 2ª ed. Tokyo: University of Tokyo Press, 1972.

[9] GUERRINI, D. P. Contribuição ao Estudo de Motores Lineares de Indução. São Carlos – SP. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1972. Tese de Doutorado.

[10] KATANO, O. J. Motores de Indução Lineares Aplicados à Tração Elétrica: Bancada de Ensaio e Análise de Protótipo Acionado por um Inversor de Frequência Variável. São Carlos – SP. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1996. Dissertação de Mestrado.

[11] SANTOS, E. B. – Análise do motor de indução linear baseada na equivalência com o motor assimétrico rotativo. Uberlândia – MG. Universidade Federal de Uberlândia, 2000. Tese de Doutorado.

[12] GIERAS, J. F. Linear Induction Drives, Clarendon Press – Oxford, 1ª Ed. USA, 1994.

[13] LANGSDORF, A. S. - Teoria de Las Máquinas de Corrente Alterna – Libros McGraw-Hill, 2ª Ed., 320 p., Cidade do México, 1971.

[14] BOLTON, H. - Transverse Edge Effect in Sheet-rotor Induction Motors - Proceedings IEE, vol. 115, nº 5, p. 725-731, Maio, 1969.

[15] RUSSEL, E. L. NORSWORTHY, K. H. - Eddy Currents and Wall Losses in Screened-Rotor Induction Motors - Proceedings IEE, Vol. 105A, p. 163-175, 1958.

[16] IVANOV-SMOLENSKI, A. V. - Máquinas Eléctricas - Editorial Mir Moscú, 3 vol., Moscou, 1988.

[17] HIRASA, T. - et. Ali. Equivalent Circuit of UM with End Effect Taken Into Account. Electrical Engineering in Japan, vol. 100, nº 2, p. 65-71, 1980.

[18] HOANG, Viet Nam. Design of a Single-Sided Linear Induction Motor. Brisbane - Australia: University of Queensland, Australia, 2003. Bachelor Electrical Engineering Thesis.

[19] Duarte Oliveira, R. A. Desenho e construção de um motor linear de indução de baixa velocidade. Monte de Caparica – Portugal. Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2000. Projeto de Final de Curso.

[20] WEBER, ÉRICO A. Armazenagem Agrícola, Kepler Weber Industrial S.A., Porto Alegre, 1995, Brasil.

[21] WEBER, ÉRICO A. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos, Kepler Weber Industrial S.A., Porto Alegre, 2005, Brasil.

[22] PUZZI, Domingos. Abastecimento e armazenagem de grãos. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

[23] Kepler Weber Indústria S/A — Fabricante de secadores de cereais - Panambi – RS – <http://www.kepler.com.br> - Brasil.

[24] Comil - Fabricante de secadores de cereais - Curitiba – PR - <http://www.comil.com.br> - Brasil.

[25] Carlos Becker - Fabricante de secadores de cereais - Gravataí – RS - <http://www.carlosbecker.com.br> - Brasil.

[26] Industrial Pagé - Fabricante de secadores de cereais - Araranguá – SC - <http://www.indpage.com.br> - Brasil.

[27] Joscil - Fabricante de secadores de cereais - Condor – RS - <http://www.joscil.com.br> - Brasil.

[28] Aeroter Equipamentos Agro Industriais Ltda - Fabricante de secadores de cereais - Londrina – PR - <http://www.aeroter.com.br> - Brasil.

[29] Solução Construtora - Fabricante de secadores de cereais – São Carlos – SP - <http://www.solucaoconstrutora.com.br> - Brasil.

[30] Esplanada Equipamentos Ltda - Fabricante de secadores de cereais - Cascavel – PR - <http://www.espl.ind.br> - Brasil.

[31] Caliver do Brasil - Fabricante de secadores de cereais - Rolândia – PR - <http://www.caliver.com.br> - Brasil.

[32] CASP S/A Indústria e Comércio - Fabricante de secadores de cereais - Amparo – SP - <http://www.casp.com.br> - Brasil.

[33] Entringer Máquinas - Fabricante de secadores de cereais - Assis – SP - <http://www.entringer.com.br> - Brasil.

[34] Consilos Indústria de silos e secadores Ltda - Fabricante de secadores de cereais - Cascavel – PR - <http://www.consilos.com.br> - Brasil.

[35] Thor Máquinas e Montagens Ltda - Fabricante de secadores de cereais – Coronel Vivida – PR - <http://www.thor.com.br> - Brasil.

[36] Grain Handler USA – Dryers grain – Minnesota – USA - <http://www.grainhandler.com> - USA.

[37] Literatura e artigos ligados à área de máquinas agrícolas e armazenagem.

[38] NASA National Aeronautics and Space Administration – USA - <http://www.msfc.nasa.gov/news/news/photos/1999/photos99-260.htm>.

[39] Maglev Monorails of the World - Shanghai, China - <http://www.monorails.org/tMspages/MagShang.html>

[40] TANIMOTO, S. C., BISPO, D., MARTINS NETO, L. Aumento da confiabilidade em secagem de cereais com uso de motores de indução lineares. Trabalho técnico apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Manutenção, 2006, Aracaju - SE.