

JOÃO LUIZ FONTANA DE FIGUEIREDO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA BOMBA
HIDRÁULICA UTILIZADA EM UMA PLATAFORMA DE DESCARGA DE
GRÃOS

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2018

JOÃO LUIZ FONTANA DE FIGUEIREDO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA BOMBA
HIDRÁULICA UTILIZADA EM UMA PLATAFORMA DE DESCARGA DE
GRÃOS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

COORIENTADORES: Prof. Dr. Alfredo Petruski e Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO - 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Sistema de Bibliotecas – UNIOESTE)

F488a Figueiredo, João Luiz Fontana de.
Avaliação da eficiência energética de uma bomba hidráulica utilizada em uma plataforma de descarga de grãos / João Luiz Fontana de Figueiredo. --- Cascavel (PR), 2018.
58 f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Coorientador: Prof. Dr. Alfredo Petruski
Dissertação (Mestrado de Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2018. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós- graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.
Inclui Bibliografia

1. Agroindústria. 2. Plataforma de Descarga. 3. Inversores elétricos. I. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo. II. Petruski, Alfredo. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed. 631.52

Rosângela A. A. Silva – CRB 9ª/1810

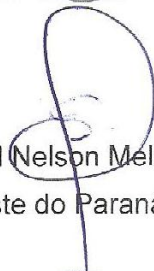
JOÃO LUIZ FONTANA DE FIGUEIREDO

**“AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA BOMBA
HIDRÁULICA UTILIZADA EM UMA PLATAFORMA DE DESCARGA
DE GRÃOS”**

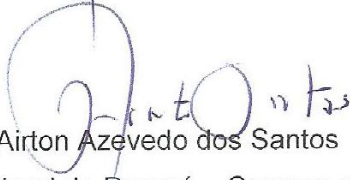
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



José Ailton Azevedo dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Medianeira (UTFPR)

Cascavel, 8 de março de 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois devo tudo a Ele. Para Ele, seja toda a glória.

À minha mãe, Gema, e meus irmãos, João Fernando e Maria Paula, pelo apoio moral e emocional ao longo da vida. Também sou grato aos meus outros familiares, que me apoiaram durante essa caminhada.

De maneira bastante especial, agradeço ao meu orientador, Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, pela paciência, dedicação, por ser uma incrível pessoa, prestando um trabalho ilibado à sociedade, na forma de educador; será sempre uma referência profissional em minha vida. Aos meus coorientadores, Dr. Alfredo Petruski e Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, pelo apoio, pelas palavras de incentivo e pelos momentos agradáveis que os senhores proporcionaram durante essa jornada.

Aos meus colegas de curso, que sempre compartilharam seus conhecimentos e experiências, elevando o nível do mestrado.

Às empresas, AB Agrobrasil e Hercules e seus colaboradores, que incentivaram, ajudaram e participaram ativamente desse projeto, sempre mostrando real interesse em me auxiliar; sem vocês, todo esse trabalho não teria sido possível. Fica registrado meu muito obrigado.

Ao senhor Gilmar Peixoto, por ter dividido seu amplo conhecimento e experiência em plataformas de descarga, o que colaborou grandemente para o resultado dessa dissertação.

A todos os professores e colaboradores, que compõem o Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Energia na Agricultura (PPGEA), pelo apoio, paciência e, principalmente, por serem todos muito prestativos e solícitos. Vocês tornaram essa caminhada bastante gratificante.

À Unioeste, por abrir suas portas e ter permitido o acesso a tanto conteúdo e a pessoas incríveis. A imagem dos corredores repletos de pessoas alegres ficará para sempre em minha memória.

Finalmente quero agradecer minha amável esposa, Carine de Figueiredo, por ter se dedicado cada segundo a mim e as nossas filhas, sem este suporte nada disso teria sido possível. Às minhas doces e amadas filhas, Teodora, Lavínia e à minha enteada, Bianca, por terem sido grande fonte de inspiração, papai ama muito vocês.

A todos vocês, meus sinceros agradecimentos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico da evolução de produção agrícola no Brasil.	4
Figura 2. Fluxograma básico de uma unidade armazenadora.	5
Figura 3. Imagem ilustrativa da plataforma de descarga.	6
Figura 4. Plataforma de descarga.	7
Figura 5. Estrutura básica de um circuito hidráulico.	8
Figura 6. Bomba hidráulica de engrenagem externa.	9
Figura 7. Engrenagem bomba de dentes externos.	10
Figura 8. Relação de pressão em um cilindro hidráulico.	11
Figura 9. Motor de indução trifásico – em corte.	14
Figura 10. Triângulo das potências.	16
Figura 11. Inversor de frequência.	17
Figura 12. CLP Siemens S7-1500, Getting started - módulo de expansão plug-in. ..	20
Figura 13. CLP Siemens S7-1500.	20
Figura 14. Vista superior da unidade de armazenamento – AB Agrobrasil LTDA.	24
Figura 15. Analisador de energia Embrasul RE7080.	25
Figura 16. Unidade Hidráulica – plataforma de descarga 21 metros.	28
Figura 17. Cilindro hidráulico – plataforma de descarga 21 metros.	28
Figura 18. Manômetro da unidade hidráulica – plataforma de descarga 21 metros. ..	29
Figura 19. Indicador de pesagem – balança rodoviária capital modelo CONTROLLER 3.0.	30
Figura 20. Força peso do caminhão carregado mais a plataforma.	31
Figura 21. Painel de comando elétrico da unidade hidráulica com analisador de energia instalado.	34
Figura 22. Balança de entrada e saída da unidade de armazenamento AB Agrobrasil.	35
Figura 23. Painel de comando elétrico da unidade hidráulica com analisador de energia instalado com o inversor de frequência.	37
Figura 24. Cabos do sistema de partida estrela-triângulo desconectados.	37
Figura 25. Placa de identificação do motor.	38
Figura 26. Diagrama multifilar de ligação do inversor de frequência.	39

Figura 27. Fatura de energia elétrica emitida pela Copel à empresa AB Agrobrasil.	42
Figura 28. Série uniforme contendo investimento inicial e retorno líquido anual.....	45
Figura 29. Gráfico da potência ativa para partida em estrela-triângulo.	47
Figura 30. Gráfico da potência ativa para partida com inversor de frequência.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações técnicas do analisador de energia modelo RE7080	26
Tabela 2. Especificações técnicas fornecidos pelo fabricante. SAUR, 2017.....	27
Tabela 3. Pesos dos caminhões em estudo para o cenário 1.....	35
Tabela 4. Pesos dos caminhões em estudo para o cenário 2.....	41
Tabela 5. Peso líquido mensal de produtos recebidos de outubro de 2016 a setembro de 2017. AB Agrobrasil.....	43
Tabela 6. Grandezas elétricas lidas pelo analisador de energia no cenário 1	48
Tabela 7. Cálculo do índice de energia por tonelada	48
Tabela 8. Grandezas elétricas lidas pelo analisador de energia no cenário 2	49
Tabela 9. Grandezas elétricas lidas pelo analisador de energia no cenário 2	50
Tabela 10. Cálculo da Tarifa Única (TU).....	50
Tabela 11. Estimativa de consumo e valor evitado de energia e custos.	51

FIGUEIREDO, João Luiz Fontana de. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto de 2017. **Avaliação da eficiência energética de uma bomba hidráulica utilizada em uma plataforma de descarga de grãos.** Prof. Dr. Carlos Eduardo Carmargo Nogueira.

RESUMO

A população avança a cada dia no tocante ao aumento do consumo de energia, nas suas mais variadas formas. O Brasil, considerado o “celeiro do mundo”, possui inúmeras unidades de armazenamento de grãos em seu território, as quais, por sua vez, consomem energia significativa em seus processos de recepção, secagem e armazenagem. Particularmente, no processo de recepção de grãos, existe um grande consumo de energia nas plataformas de descarga responsáveis por receber os produtos a granel. Essas plataformas de descarga são operadas por bombas hidráulicas, acionadas por um motor elétrico, que opera de forma ininterrupta durante todo o processo de basculamento. O presente trabalho visa realizar um estudo de eficiência energética, no sistema de basculamento da plataforma de descarga, a partir da utilização de dispositivos elétricos para controle do funcionamento do motor. Para tal finalidade, foram estabelecidos dois cenários. O primeiro cenário considera a plataforma em seu estado atual, com partida do motor feita por uma chave estrela-triângulo. No segundo cenário, a partida com chave estrela-triângulo é desligada e são acoplados um inversor de frequência e um controlador lógico programável (CLP), para fazer o controle do motor elétrico. Para os dois cenários, foram medidos os consumos de energia ativa e reativa na plataforma de descarga, utilizando um analisador de energia; além disso, foram calculados os custos da energia consumida, no período de um ano. Por fim, foi calculado o *Payback*, descontado para avaliar a viabilidade econômica da instalação dos equipamentos propostos. Os resultados obtidos foram os seguintes: Para o cenário atual, a energia gasta para bascular uma tonelada foi de $35,44 \cdot 10^{-3}$ kWh/ton; para o cenário proposto, com inversor de frequência, o índice foi de $32,78 \cdot 10^{-3}$ kWh/ton. Realizando uma projeção anual, o cenário atual consumiria o equivalente a 10.921,35 kWh; diante do cenário proposto, o índice foi de 10.100,81 kWh, gerando uma economia anual, com a instalação dos equipamentos, de R\$721,49; o *Payback* descontado encontrado foi de 31 anos aproximadamente. Pode-se concluir, portanto, que existe uma redução de consumo de energia elétrica a partir da utilização do inversor de frequência, porém, o tempo de retorno do capital investido é muito longo, tornando a proposta inviável economicamente.

Palavras-Chave: Agroindústria, Plataforma de Descarga, Inversor de Frequência.

FIGUEIREDO, João Luiz Fontana de. Western Paraná State University, august 2016.
**Analysis of Energy Efficiency of a Hydraulic Pump in a Discharged Platform
Used in Agroindustry.** Adviser. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

ABSTRACT

The population advances quickly in the regard to the increase in consumption energy in many forms. Brazil, considered the "breadbasket of the world", has innumerable grain storage units in his territory, and these, consume a lot of energy in their reception, drying and storage processes. Particularly in the process of receiving grains, there is a large energy consumption in the discharged platforms responsible for receiving the products in bulk. These discharged platforms are operated by hydraulic pumps driven by an electric motor, which operates uninterruptedly throughout the basculation process. The present work aims to perform a study of energy efficiency in the basculation system of the discharged platform, from the use of electric devices to control the operation of the engine. For this purpose, two scenarios were established. The first scenario considers the platform in its current state, with engine starting made by a star-triangle key. In the second scenario, star-delta start is switched off, and a frequency inverter and a programmable logic controller (PLC) are coupled to control the electric motor. For the two scenarios, the active and reactive energy consumptions were measured in the discharged platform using an energy analyzer, and the costs of the energy consumed in the period of one year were calculated. Finally, the discounted Payback was calculated to evaluate the economic feasibility of installing the proposed equipment. The results obtained were as follows: For the current scenario, the energy used to raise a ton was $35.44 \cdot 10^{-3}$ kWh/ton, for the proposed scenario, with a frequency inverter, this index was $32.78 \cdot 10^{-3}$ kWh/ton. With an annual projection, the current scenario would consume the equivalent of 10,921.35 kWh and the proposed scenario 10,100.81 kWh, generating an annual savings with equipment installation of R\$721.49, and the discounted Payback found of approximately 31 years. It can be concluded, therefore, that there is a reduction of electric energy consumption from the use of the frequency inverter, but the time of return of the invested capital is very long, making the proposal economically unfeasible.

Keywords: Agroindustry, Discharged Platform, Frequency Inverter.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo Geral	2
1.2. Objetivos específicos:	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Produção de Grãos no Brasil.....	4
2.2. Unidades de Armazenamento	4
2.2.1. Funcionamento de uma Unidade Armazenadora.....	5
2.3. Plataforma de Descarga - Tombador	6
2.4. Sistema Hidráulico	8
2.4.1. Bomba Hidráulica.....	9
2.4.2. Cilindro Hidráulico	11
2.5. Sistema Elétrico da Unidade Hidráulica	13
2.5.1. Motor de Indução Trifásico.....	13
2.5.2. Inversor de Frequência	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Localização do Experimento.....	24
3.2. Materiais e Equipamentos Utilizados.....	24
3.2.1. Dispositivos Elétricos	25
3.2.2. Dispositivos Hidráulicos	27
3.2.3. Dispositivos Mecânicos.....	29
3.3. Metodologia.....	30
3.3.1. Cálculo das potências utilizadas nos dispositivos de comando da plataforma.....	30
3.3.2. Cálculo dos rendimentos dos dispositivos de comando da plataforma	32
3.3.3. Cenários avaliados.....	33
3.3.4. Cálculo dos Consumos de Energia e Produtividade da Plataforma	41
3.3.5. Payback Descontado	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. Potências e Rendimentos dos Dispositivos de Comando da Plataforma	46
4.1.1. Resultados obtidos para o Cenário 1	47
4.1.2. Resultados obtidos para o Cenário 2	49
4.1.3. Redução do Consumo de Energia e Melhoria de Produtividade	50
4.1.4. Payback Descontado	52
5. CONCLUSÃO	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A humanidade aprendeu a dominar o fogo no período paleolítico, há mais de 10.000 anos atrás. Desde então, o homem se beneficiou com uma fonte confiável de calor e luz, alterando sua história. Infelizmente, segundo a ONU (2010), para cada um, dentre três pessoas hoje no mundo, pouquíssimo mudou. Estima-se que há, ainda, no mundo, mais de 1,5 bilhão de pessoas sem acesso à energia elétrica, sendo que esse é um dos quesitos mais importantes para a qualidade de vida e desenvolvimento humano.

O acesso à energia limpa, eficiente e renovável é indispensável para o crescimento global. Países desenvolvidos precisam expandir o acesso aos tipos mais modernos de energia, a fim de reduzir a pobreza, melhorar e propiciar mais saúde aos cidadãos, ao mesmo tempo, acelerando a produção e promovendo o crescimento global.

Nessa linha de raciocínio, a humanidade necessita percorrer por dois caminhos; o primeiro: o desenvolvimento de novas formas de geração e abastecimento de energia elétrica; o segundo: a racionalização no uso dessa energia, para que esse bem esteja disponível para pessoas que ainda não a têm.

O beneficiamento de produtos agrícolas necessita de um alto consumo de energia elétrica, devido à necessidade de estocagem desses produtos; além disso, a falta de investimento em equipamentos mais eficientes torna o consumo ineficaz.

A produção de grãos ocorre de forma sazonal e o volume colhido, nesses períodos, é maior do que o seu consumo; a par disso, faz-se necessário o seu armazenamento e conservação, para que possam ser comercializados no futuro, de acordo com a conveniência do mercado. Essa utilização basicamente se efetiva pela escassez de tal produto no mercado ou por estratégia comercial das empresas armazenadoras. O mercado agroindustrial de grãos gira em torno dessa infraestrutura de armazenamento e processamento de grãos, parte responsável pela maior economia do Brasil (Portal Brasil, 2017).

A unidade de armazenamento de grãos possui uma plataforma de descarga denominada Tombador, que é responsável por retirar o produto de dentro dos caminhões, a fim de conduzir para o beneficiamento e armazenagem. Esse equipamento opera de maneira a bascular o caminhão, com o auxílio da gravidade, sendo que todo o material é escoado para dentro de moegas. Em épocas de safra, o equipamento

funciona 24 horas por dia, 7 dias por semana, enquanto durar a safra, de forma que seu uso pode, inclusive, se estender por várias semanas. O propulsor da energia, responsável para elevar essa plataforma, é um motor de indução trifásico, que opera ininterruptamente durante todo o período mencionado. Todavia, ao analisar um ciclo de descarga do caminhão, a parcela de tempo em que se faz necessário o uso dessa energia representa cerca de 50% do tempo do ciclo, pois há necessidade de potência apenas na elevação do conjunto, uma vez que, para descer, a gravidade se encarrega, sendo que o tempo de subida e de descida é praticamente o mesmo. Ou seja, durante todo o período em que o equipamento está descendo para sua posição inicial, pode-se afirmar que há desperdício de energia.

Esse problema é tratado no presente estudo. A solução proposta para minimizar tal perda de energia seria controlar a potência do motor elétrico, com a utilização de um Inversor de Frequência e um Controlador Lógico Programável (CLP), fazendo com que alguns investimentos iniciais fossem necessários. Entretanto, há uma expectativa de economia nos custos da energia consumida e, para quantificar essa economia, foi utilizado o *Payback* descontado, que indica o tempo de retorno do capital investido.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo fazer uma avaliação técnico-econômica da eficiência energética, em uma unidade de bomba hidráulica, acionada por um motor de indução trifásico, aplicado a uma plataforma de descarga, denominada tombador. O estudo propõe a instalação de um inversor de frequência e de um CLP para controlar e reduzir a energia consumida pelo motor de indução.

1.2. Objetivos específicos:

- Fazer o levantamento da potência necessária em cada fase da descarga;
- Fazer uma avaliação da energia elétrica consumida na atual condição, considerando que o motor elétrico permanece ligado durante todo o processo de descarga;

- Instalar um inversor de frequência e um CLP para controlar a potência do motor elétrico, visando reduzir o consumo de energia elétrica nos ciclos de tombamento;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica comparativa para o novo cenário, utilizando como índice o *Payback* descontado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção de Grãos no Brasil

Segunda a EMBRAPA (2017), atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de soja e um dos maiores produtores de grãos no mundo. Segundo o último levantamento da safra 2016/2017, o Brasil irá bater todos os recordes anteriores de produtividade, conforme mostra a figura 1.

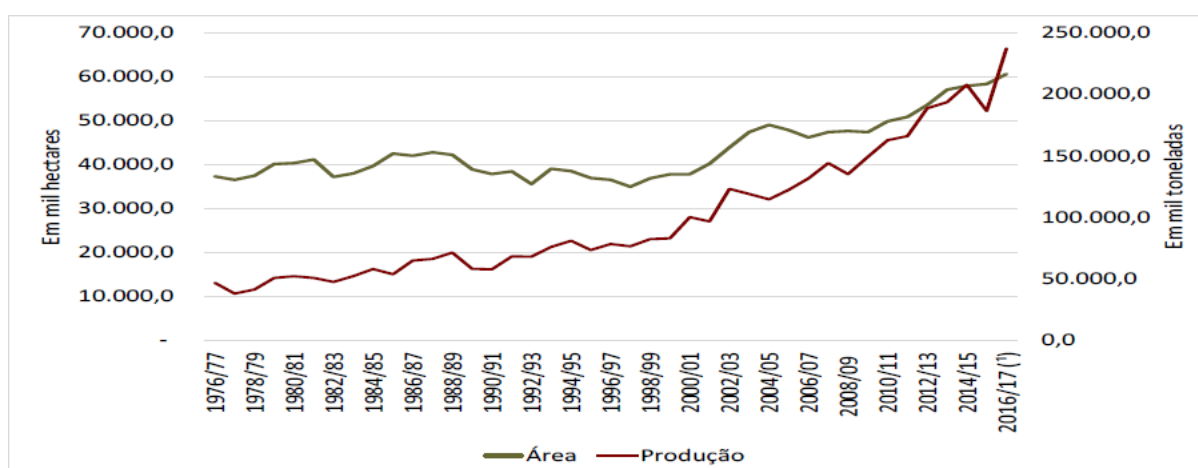


Figura 1. Gráfico da evolução de produção agrícola no Brasil.
Fonte: EMBRAPA, 2017.

A estimativa oficial da CONAB (2017) é de 237,22 milhões de toneladas, representando um crescimento de 27,1% com relação à safra anterior 2015/2016. Já a área plantada, está estimada em 60,49 milhões de hectares, com crescimento previsto de 3,7%, mostrando que o aumento da produção teve muito mais influência da eficiência de novas tecnologias do que da área de plantio propriamente dito. Sendo assim, o país vem ganhando destaque, safra após safra, reafirmando o título de “celeiro do mundo”.

2.2. Unidades de Armazenamento

O Brasil, por se tratar de um país tropical, depende muito de uma armazenagem de qualidade para conservar o grão e oferecer flexibilidade às empresas, a fim de que possam atender às demandas do mercado. Em termos de armazenagem, a capacidade estática do Brasil, no ano de 2016, segundo a CONAB (2017), é de 157,62 milhões de toneladas. Observa-se que a capacidade de armazenagem fica abaixo da

produção, o que implica ainda mais em necessidade de celeridade no recebimento e expedição desses grãos.

2.2.1. Funcionamento de uma Unidade Armazenadora

O objetivo de uma Unidade Armazenadora é, obviamente, armazenar produtos a granel e, para isso, há duas extremidades importantes: o recebimento e a expedição, bem como a velocidade com que essas duas etapas acontecem, que vai determinar a capacidade de recebimento e expedição da unidade. A primeira etapa desse processo é o recebimento, sendo que a plataforma de descarga em estudo aplica-se nesse trabalho. Na figura 2, verifica-se um fluxograma básico de uma unidade de armazenagem:

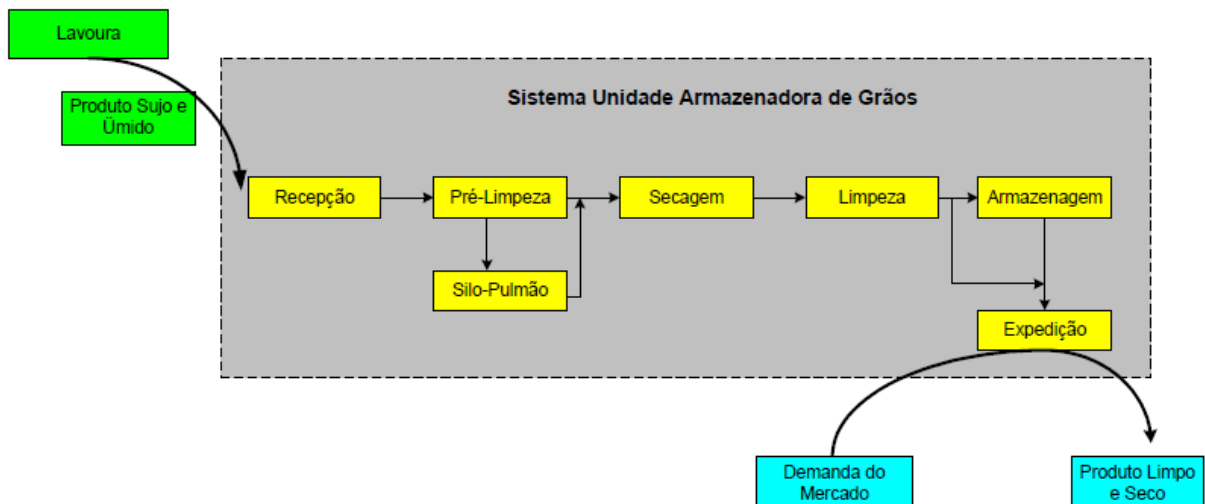


Figura 2. Fluxograma básico de uma unidade armazenadora.
Fonte: Silva, 2006.

O produto, depois de colhido na lavoura, é carregado em caminhões e levado para as unidades de armazenagem da região, geralmente, cooperativas, empresas do agronegócio ou produtores que possuem sua própria estrutura de armazenamento. Ao chegar à unidade, o produto é quantificado por meio de equipamentos de classificação do material e da pesagem total da carga, na chegada e na saída do caminhão, desconsiderando sua tara. O produto é descarregado em moegas, que são direcionadas para máquinas de pré-limpeza, as quais têm como papel principal retirar partículas que possam comprometer a secagem, como vagens, talos, areia, terra, etc. Após essa pré-limpeza, o material é levado até o secador, onde o ar aquecido passa pela massa de grãos e retira a umidade contida em seu interior. Esse processo é fundamental

para que haja armazenagem de qualidade e o grão não apodreça dentro do armazém ou silo, uma vez que a umidade ideal para armazenamento da maioria dos grãos é de 12% a 13% (SILVA, 2008). Depois da secagem, é realizada uma nova limpeza para retirar eventual impureza e, então, o produto é destinado para a armazenagem, aguardando a demanda do mercado para ser comercializado ou consumido.

2.3. Plataforma de Descarga - Tombador

O objetivo da plataforma de descarga é retirar todo o produto contido na carroceteria dos caminhões e despejar na moega. Antes das plataformas, esse trabalho era feito manualmente, com auxílio de rodos e, portanto, a chegada dessa tecnologia agilizou o processo de recebimento de grãos. A figura 3 ilustra o processo.

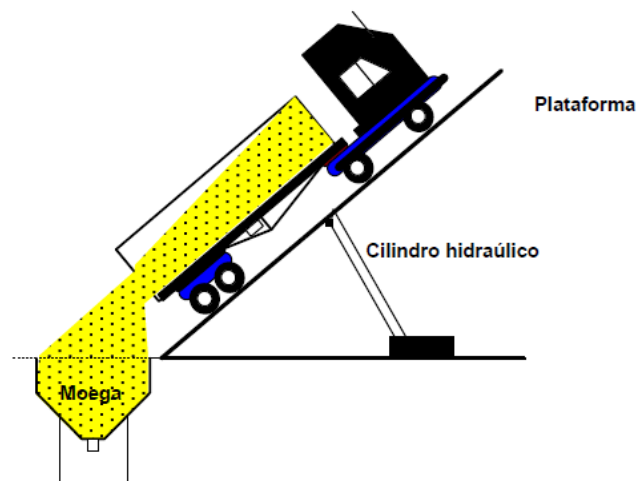


Figura 3. Imagem ilustrativa da plataforma de descarga.
Fonte: Silva ,2010.

Para que esse processo ocorra, são utilizados vários equipamentos e dispositivos, a fim de que o conjunto mecânico seja elevado e o produto esco, das caçambas para dentro das moegas. A figura 4 mostra uma foto com detalhes de cada um dos itens que compõem esse equipamento.



Figura 4. Plataforma de descarga.
Fonte: Saur. 2017.

1. Unidade Hidráulica – Essa parte do equipamento é responsável pelo seu comando. Há um bloco de válvulas hidráulicas que fazem a operação dos cilindros hidráulicos, com seus devidos intertravamentos, garantindo a segurança da descarga. Além disso, fornece a pressão hidráulica e vazão de fluido hidráulico, 190 bar e 160 litros por minuto, respectivamente, de modo que os cilindros tenham força necessária para elevar todo o conjunto, mais a carga.
2. Cilindros Hidráulicos – São responsáveis por fazer a elevação da plataforma. São utilizados 2 cilindros para distribuição da força necessária para elevação. Esses cilindros são dimensionados para suportar o peso de toda a estrutura, mais o peso do caminhão carregado.
3. Plataforma – É a parte em que o caminhão fica posicionado e também responsável por conduzir o produto para dentro da moega, fazendo algo semelhante a uma calha. Essa estrutura necessita ser forte de forma suficiente para suportar a carga máxima para qual foi dimensionada. É na plataforma que os cilindros são acoplados a um ponto de giro, sendo que a parte que fica fixa ao piso também possui um ponto de giro, possibilitando o basculamento.

Esse conjunto é capaz de elevar caminhões com um PBT de até 90 toneladas. Há fabricantes com plataformas de até 30 metros, visto que o peso da plataforma pode atingir mais de 20 toneladas. Todo esse conjunto necessita de robustez e segurança para realizar quase 100 ciclos de descarga por dia, em períodos de safra.

2.4. Sistema Hidráulico

A definição de um sistema hidráulico é “um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças e movimentos” (LINSINGEN, 2008).

O sistema hidráulico pode ser dividido em duas partes, como se observa na figura 5. O primeiro é o circuito de atuação, que compreende os dispositivos que atuam, de alguma forma, podendo ser válvulas, cilindros ou motores hidráulicos. O segundo é o circuito de potência, responsável por fornecer a energia hidráulica ao circuito de atuação, o qual é composto basicamente pelo reservatório, filtro, válvula limitadora e bomba. Os componentes de ambos os circuitos variam de acordo com cada aplicação, sendo projetado para as diversas necessidades que se aplicam (SZPAK, 2008).

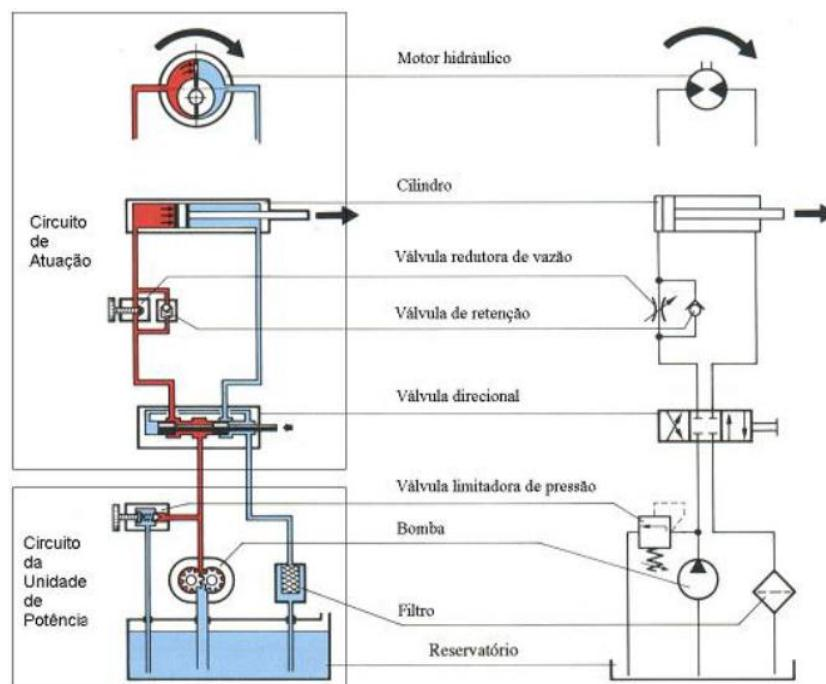


Figura 5. Estrutura básica de um circuito hidráulico.
Fonte: Szpak, 2008.

2.4.1. Bomba Hidráulica

A função da bomba hidráulica é transformar energia mecânica em energia hidráulica. Há diversos tipos de bombas hidráulicas; a bomba em estudo é a bomba de engrenagem externa, também chamada de bombas de dentes-sobre-dentes (PARKER, 1999). A figura 6 mostra uma imagem ilustrativa dessa bomba.

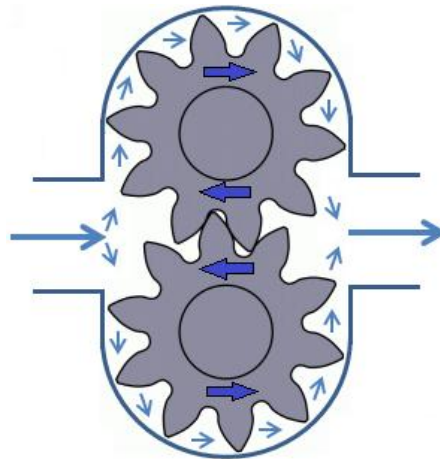


Figura 6. Bomba hidráulica de engrenagem externa.
Fonte: PARKER, 1999.

O fluido, ao entrar nessa bomba, é conduzido pelos dentes de duas engrenagens, sendo aprisionado contra a parede de vedação, em forma de meia lua. Ele só é liberado após a meia volta das engrenagens e forçado a sair pela câmara de saída, pois, nesse ponto, há uma vedação entre os dentes das duas engrenagens. Por essa razão, o sentido de giro interno das engrenagens é contra o fluxo de bombeamento.

Palmieri (1997) diz que a bomba hidráulica se responsabiliza pela vazão do sistema hidráulico. Neves (2005) complementa que sua função é forçar o fluido hidráulico para dentro do cilindro. A resistência ao deslocamento do fluido é a responsável pela pressão gerada no sistema. Para o cálculo dessa vazão, é adotada a equação 1:

$$Q = \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot \pi \cdot R \cdot L \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

Em que:

Q = Vazão (l/min);

D = Diâmetro externo (mm);

d = Diâmetro da profundidade do dente (mm);

L = Largura dos dentes (mm);

R = Rotação (rpm).

A figura 7 mostra uma das duas engrenagens que compõem uma unidade hidráulica. Nela, podem-se verificar as dimensões necessárias para o cálculo de dimensionamento da bomba hidráulica.

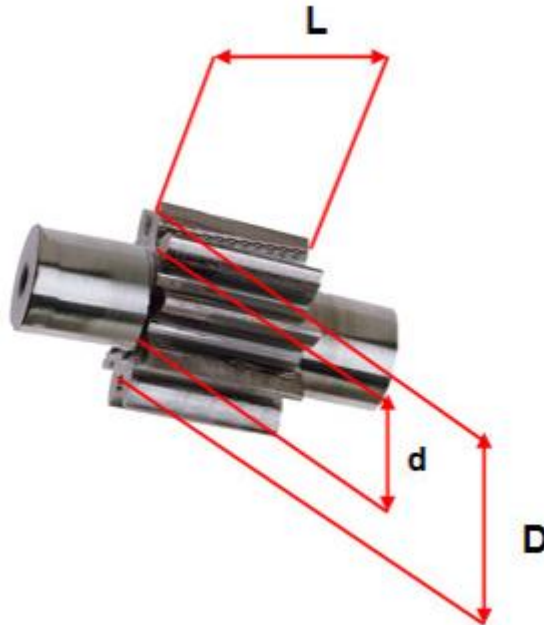


Figura 7. Engrenagem bomba de dentes externos.
Fonte: HYDRACOMPANY.

Para encontrar a potência da bomba hidráulica, é necessário levar em consideração a pressão do sistema. Por definição, a potência é o trabalho realizado por uma força, durante um determinado tempo, conforme equação 2.

$$Potência = \frac{Trabalho}{Tempo} \quad (2)$$

Na hidráulica, a potência se evidencia pelo produto da vazão e da pressão, como pode ser visto na equação 3:

$$Ph = 1,405 \cdot Q \cdot Pre \quad (3)$$

Em que:

Ph = Potência Hidráulica (cv);

Pre = Pressão (kgf/cm²);

2.4.2. Cilindro Hidráulico

O cilindro hidráulico (figura 8) é um atuador linear de um sistema hidráulico, visto que seu princípio de funcionamento está baseado nas leis de Pascal. Segundo Fialho (2010), a definição de pressão é a força exercida pelo fluido por unidade de área de um recipiente. Sua unidade no SI é dada em N/m^2 ou Pa. Desse modo, é possível conhecer a força que o fluido exerce contra as paredes de seu confinamento, ou ainda, a força necessária para manter o sistema em equilíbrio.

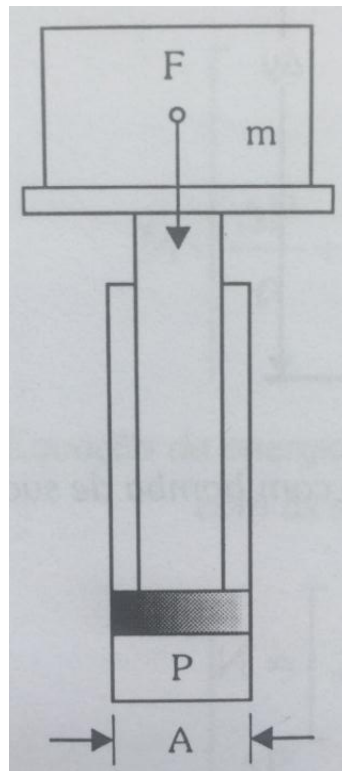


Figura 8. Relação de pressão em um cilindro hidráulico.
Fonte: Fialho, 2010.

A equação 4 é utilizada para o cálculo dessa pressão:

$$P_c = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Em que:

P_c = Pressão na câmara (N/m^2);

F = Força peso exercida pela massa m (N);

A = Área do pistão (m^2).

Para o dimensionamento de um pistão, equação 5, deve-se levar em conta a pressão nominal do sistema hidráulico; a partir dessa pressão, é determinada a pressão de trabalho estimada, levando-se em consideração uma perda estimada entre 10% e 15%. Assim:

$$P_{tb} = PN - 0,15 \cdot PN \quad (5)$$

Em que:

P_{tb} = Pressão de trabalho estimada (psi);

PN = Pressão nominal (psi).

Com a força de avanço necessária e a pressão de trabalho estimada, é possível calcular o diâmetro interno do pistão, com base na equação 6:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot P_{tb}}} \quad (6)$$

Em que:

D_p = Diâmetro interno do pistão (mm);

F_a = Força efetiva (N);

Com esse valor, é possível consultar o catálogo dos fabricantes e determinar o cilindro adequado para cada aplicação. Porém, deve-se observar que o cilindro a ser utilizado deve seguir a seguinte relação:

$$D_p \text{ Comercial} \geq D_p \text{ Calculada}$$

A Forma de fixação do cilindro hidráulico é importante para o seu dimensionamento, pois, a partir dela, será dimensionado o diâmetro mínimo necessário da haste, pelo critério de "Euler" (FIALHO, 2010). Essa análise consiste em verificação de deformação por flambagem. De acordo com Euler, a carga de flambagem é obtida pela equação 7:

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{\lambda^2} \quad (7)$$

Em que:

K = Carga de Flambagem (N);

λ = Comprimento livre de flambagem (cm);

E = Módulo de elasticidade do aço (módulo de Young = $2,1 \times 10^7$ N/cm²);

J = Momento de inércia para seção circular (cm⁴).

Sendo assim, a Força máxima de avanço permitida será propiciada pela carga de flambagem e seu coeficiente de segurança, apresentado na equação 8:

$$Fa = \frac{K}{S} \quad (8)$$

Em que:

S = Coeficiente de Segurança (3,5).

Segundo informações do fabricante, o dimensionamento de todo o conjunto da plataforma elevatória inicia-se no tempo total de elevação desejado. Com base nesse tempo e no peso máximo total que os cilindros hidráulicos irão elevar, é escolhido qual cilindro será utilizado. A carga máxima suportada por cada cilindro será dividida entre dois ou mais cilindros. Então, o volume total de fluido hidráulico, necessário para todos os cilindros abertos, é dividido pelo tempo de elevação desejado para dimensionamento da vazão necessária da bomba hidráulica. Por exemplo, se o volume total de dois cilindros estendidos é de 500 litros e o tempo desejado de elevação é de 5 minutos, a vazão da bomba hidráulica deve ser de 100 l/min.

2.5. Sistema Elétrico da Unidade Hidráulica

O sistema elétrico de uma unidade hidráulica é responsável pela alimentação do motor de indução trifásico, que fornece potência para a bomba hidráulica e é responsável por alimentar todo o circuito de comando, como sensores, válvulas pilotadas por bobinas eletromagnéticas, etc.

2.5.1. Motor de Indução Trifásico

O motor de indução trifásico é o motor comumente empregado na indústria e na agroindústria, pois seu baixo custo, simplicidade e robustez corroboram para que sua aplicação seja a mais variada possível. Esse equipamento é responsável por transformar energia elétrica em energia mecânica de utilização (FILHO, 2007).

O motor de indução trifásico divide-se em duas partes, o rotor e o estator, conforme mostrado na figura 9.

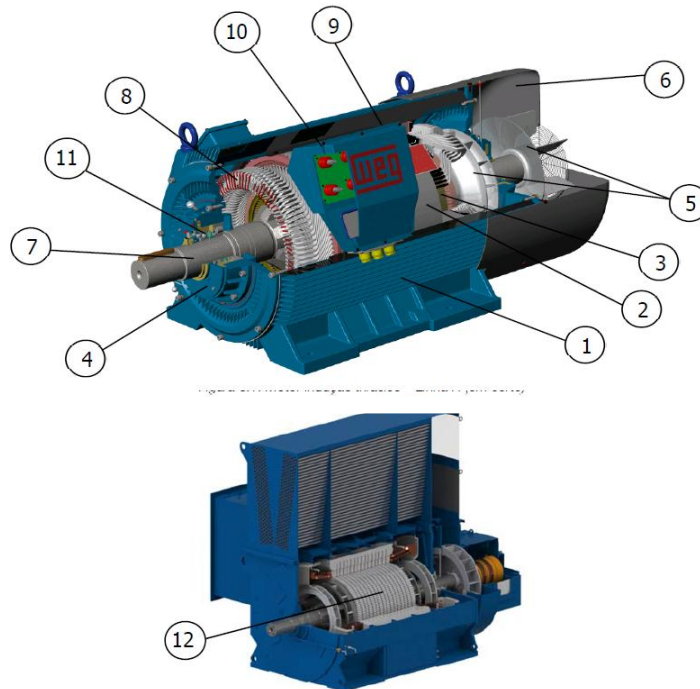


Figura 9. Motor de indução trifásico – em corte.
Fonte: WEG, 2015.

Estator:

- 1) Carcaça – É a estrutura externa do motor;
- 2) Núcleo de Chapas – As chapas são de aço magnético, geralmente, em aço-silício;
- 8) Enrolamento Trifásico – Três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico.

Rotor:

- 7) Eixo – Em aço, transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor;
- 3) Núcleo de Chapas – Possuem as mesmas características das chapas do estator;
- 12) Gaiola ou enrolamento do rotor – É composta de barras e anéis de curto-circuito, no motor tipo gaiola, e de bobinas, em motor tipo de anéis.

Outras Partes de um Motor de Indução Trifásico:

- 4) Tampa do mancal;
- 5) Ventilador interno e externo;
- 6) Tampa defletora ou proteção do ventilador;

- 9) Caixa de ligação de força;
- 10) Placas de bornes com isolador e pino de ligação;
- 11) Rolamentos.

Os fabricantes de motores possuem geralmente duas categorias de motores, os convencionais ou *standard* e os de alto rendimento. Como o próprio nome diz, esses motores possuem um rendimento maior que o motor convencional, minimizando perdas, devido à mudança na qualidade de materiais e diferenças construtivas.

O Rendimento de um motor é calculado por meio da relação da potência mecânica no eixo e a potência elétrica ativa, que é consumida da rede, conforme equação 9.

$$\eta = \frac{P_u}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi} \cdot 100 \quad (9)$$

Em que:

η = Rendimento (%);

P_u = Potência Útil (W);

U = Tensão (V);

I = Corrente (A);

$\cos \varphi$ = Fator de Potência.

Em suma, os motores de alto rendimento entregam a mesma potência mecânica ao eixo, com relação aos motores convencionais, porém, com uma potência elétrica menor, gerando economia ao longo de sua vida útil.

Outras grandezas, que devem ser entendidas para dimensionamento de um motor trifásico, são a relação entre as Potências, chamadas de Potência Aparente, Ativa e Reativa.

Potência Aparente (S) – É o resultado da multiplicação da tensão pela corrente. Corresponde à potência ativa, se não houvesse defasagem da corrente, em relação à tensão, ou seja, se a carga fosse puramente resistiva. A equação utilizada é a 10:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (10)$$

Potência Ativa (P) – É a parcela da potência aparente que realiza trabalho, o que de fato é transformado em energia, equação 11:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (11)$$

Potência Reativa (Q) – É a parcela da potência aparente, que não realiza trabalho; é transferida e armazenada nos elementos passivos, capacitores e indutores, conforme equação 12.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (12)$$

Em que:

S = Potência Aparente (VA);

P = Potência Ativa (W);

Q = Potência Reativa (VAr);

A figura 10 mostra a relação entre as potências no triângulo das potências. Dessa forma, pode-se analisar a influência que o fator de potência possui sobre a potência aparente e a potência reativa.

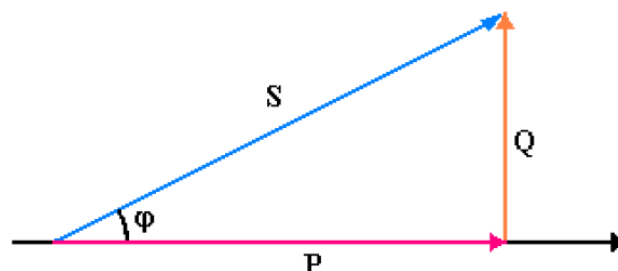


Figura 10. Triângulo das potências.

2.5.2. Inversor de Frequência

Os inversores de frequência ocupam cada vez mais espaço na agroindústria para controle de velocidade, torque e economia de energia, sendo esses os principais motivos para sua utilização (Figura 11).



Figura 11. Inversor de frequência.
Fonte: WEG, 2005.

Para o dimensionamento dos inversores de frequência, Franchi (2010) estabelece os conceitos:

Força (F) – Um movimento é o resultado da aplicação de uma ou mais forças a um determinado objeto. A Força é identificada pela intensidade, direção e sentido. A unidade de força no SI é Newton (N).

Velocidade (n) – É a medida da distância que um objeto pode atingir em um determinado tempo, geralmente, a unidade utilizada é metro por segundo (m/s).

Velocidade Angular (ω) – É o deslocamento angular em relação ao tempo, geralmente, medido em rotações por minuto (rpm).

Torque (T) – É o produto da força tangencial F, aplicada tangencialmente a uma estrutura circular, pelo raio dessa estrutura. A unidade de torque mais utilizada é a Newton vezes metro (Nm).

Potência (P) – É a taxa na qual o trabalho é realizado por uma máquina. Em máquinas rotativas, a potência pode ser calculada conforme equação 13.

$$P = \frac{T \cdot \omega}{9550} \quad (13)$$

Em que:

P = Potência (kW)

T = Torque (Nm)

ω = Velocidade Angular (rpm)

Momento de Inércia (J) – É a propriedade que uma máquina rotativa possui de resistir a uma mudança de velocidade de rotação; sua unidade no SI é Kgm².

Para acelerar um objeto rotativo da velocidade n_1 para n_2 , um torque deve ser fornecido para promover a aceleração. O tempo necessário para a mudança da velocidade depende do momento de inércia J do sistema compreendido pelo inversor de frequência e pela carga mecânica (FRANCHI, 2010). O torque de aceleração será de acordo com a equação 14:

$$T = J \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{(n_2 - n_1)}{t} \quad (14)$$

Em que:

T = Torque (Nm);

J = Momento de inércia (Kgm²);

n_1 = Velocidade Angular Inicial (rpm);

n_2 = Velocidade Angular Final, pretendida (rpm);

t = Tempo necessário para atingir a velocidade pretendida (segundos).

A relação de torque em um inversor de frequência é dada pela possibilidade dos motores de indução serem modelados como transformadores, em que o primário é o estator e o secundário é o rotor. Pelo equacionamento da máquina assíncrona, o conjugado desenvolvido pelo motor assíncrono é dado pela equação 15 (Franchi, 2010):

$$T = \varphi_m \cdot I_2 \quad (15)$$

E a tensão, aplicada na bobina de um estator, é dada pela equação 16:

$$U_1 = 4,44 \cdot F_1 \cdot N_1 \cdot \varphi_m \quad (16)$$

Em que:

I_2 = Corrente do Motor (A);

F_1 = Frequência da rede (Hz);

φ_m = Fluxo de magnetização (Wb);

U_1 = tensão no estator (V);

N_1 = Número de espiras.

O fluxo alternado φ_1 , resultante da tensão no estator U_1 , induz uma força eletromotriz (f.e.m.) no rotor (U_2), a qual produz um fluxo φ_2 proporcional à tensão U_2 , e inversamente proporcional à frequência, conforme a equação 17:

$$\varphi_2 = \frac{U_2}{f} \quad (17)$$

Para possibilitar a operação do motor com torque constante, para diferentes velocidades, deve-se variar a tensão U_1 , proporcionalmente à variação da frequência f_1 , mantendo o fluxo constante.

2.5.3. Controlador Lógico Programável (CLP)

Criado no período da primeira revolução industrial pela indústria automobilística, o CLP era utilizado para realizar mudanças na linha de montagem, uma vez que, anterior a isso, todo o painel de comando necessitava ser alterado para produzir uma peça diferente da anterior, que estava em linha de produção. Paralelamente à evolução das tecnologias de semicondutores e da própria computação, o CLP evoluiu nas mesmas proporções, uma vez que sua base tecnológica possui alicerces nessas tecnologias (SELENE, 2013).

Segundo Oliveira (2004), a variedade de CLPs é grande, pois atende vários tipos de processos, podendo variar desde o controle completo de uma planta industrial até uma pequena máquina CNC. A vantagem maior do CLP é sua flexibilidade na aplicação de projetos e processos, sendo incrementadas novas fases do processo com certa facilidade. Um CLP tem as seguintes características:

- Hardware de fácil controle e programação;
- Preparado para operação em ambiente industrial;
- Facilidade na manutenção e diagnóstico de falhas;
- Módulos tipo *plug-in* de fácil substituição (Figura 12);
- Meio de comunicação com computadores;
- Compatibilidade com variados tipos de sinais de entrada e saída;
- Capacidade de intercomunicação com outros CLPs e/ou equipamentos em uma planta industrial.

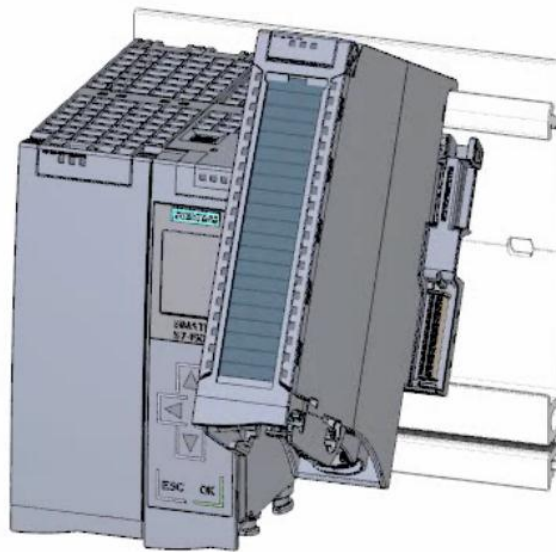


Figura 12. CLP Siemens S7-1500, Getting started - módulo de expansão plug-in.
Fonte: SIEMENS, 2014.

A figura 13 apresenta um modelo de CLP bastante utilizado na indústria para controle de fábricas inteiras ou, então, controle de máquinas pequenas de produção ou controle de processos:



Figura 13. CLP Siemens S7-1500.
Fonte: www.automation.siemens.com

Fazendo-se uma equivalência entre o sistema biológico do corpo humano e o sistema de controle industrial de uma planta fabril, o CLP é como se fosse o cérebro do corpo humano, diante de uma fábrica; seu papel é gerenciar e processar tudo que acontece com a fábrica, assim como o cérebro o faz com o corpo. Diante de sensores

e sinais que a fábrica envia ao CLP, a decisão é tomada mediante seus atuadores; todo o processo é decidido por esse equipamento gerenciador de atividades (ROSÁRIO, 2005).

2.6 . Grupo Tarifário de Energia Elétrica

A energia elétrica é cobrada de diversas formas, dependendo do enquadramento tarifário do consumidor. Compreender a forma como a energia elétrica é cobrada é fundamental para se realizar um estudo de racionalização de energia elétrica. A fatura de energia elétrica reflete a maneira como a energia é consumida e possibilita, muitas vezes, procurar um melhor grupo tarifário para cada demanda.

A Resolução n. 414 de 10/09/2010, da ANEEL, estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, entre elas, a divisão dos grupos e subgrupos tarifários (ANEEL, 2010).

Para entender os grupos, a ANEEL estabeleceu uma divisão, de acordo com a tensão de fornecimento da unidade consumidora, obedecendo aos seguintes limites:

Tensão secundária de distribuição: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;

Tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda contratada ou estimada pelo usuário for igual ou inferior a 2.500 kW;

Tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: Quando a demanda contratada ou estimada pelo usuário for superior a 2.500 kW.

De acordo com cada nível de tensão e demanda contratada, o usuário se enquadra dentro de um grupo tarifário, que é dividido em Grupo A e Grupo B (ANEEL, 2010).

Grupo A

Unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição, em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- c) subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;

e) subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e

f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B

Consumidores com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV. A tarifa aplicada a esse grupo é a monômia.

- B-1 - Residencial;
- B-1- Residencial Baixa Renda;
- B-2 - Rural;
- B-2 - Cooperativa de utilização rural;
- B-2 - Serviço público de irrigação;
- B-3 - Demais classes;
- B-4 - Iluminação Pública.

Tarifa Binômia - Conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW). Essa modalidade é aplicada aos consumidores do Grupo A.

Tarifa Monômia - Tarifa de fornecimento de energia elétrica, constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (kWh). Essa tarifa é aplicada aos consumidores do Grupo B (baixa tensão).

Para tarifação do Grupo A, ainda é necessário levar em consideração que existe o sistema tarifário convencional - que se caracteriza pela aplicação de tarifas, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano - e o sistema tarifário horossazonal - que se caracteriza pela aplicação de tarifas dependentes das horas e períodos de utilização, denominadas de Tarifa Azul e Tarifa Verde (PROCEL, 2011).

Tarifa Azul – Modalidade para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia.

Tarifa Verde – Modalidade para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência.

Horário de Ponta – Período definido pela concessionária e composto por três horas diárias consecutivas. No caso da COPEL, de 2ª a 6ª feira, das 18h às 21h (das 19h às 22h, no Horário de Verão).

Horário Fora de Ponta – Corresponde às demais vinte e uma horas do dia, que não sejam aos referentes ao horário de ponta.

Período Seco – Período compreendido pelos meses de maio a novembro (7 meses). É, geralmente, um período com poucas chuvas. Em algumas modalidades, as tarifas desse período apresentam valores mais elevados.

Período Úmido – Período compreendido pelos meses de dezembro a abril (5 meses). É, geralmente, o período com mais chuvas (PROCEL, 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

O presente trabalho foi realizado nos meses de outubro e novembro do ano de 2017, na empresa AB AGROBRASIL, localizada na cidade de Cascavel (PR). Em 2010, a empresa do segmento do agronegócio, que trabalha com beneficiamento e comercialização de grãos, iniciou a construção de uma nova unidade, no terminal ferroviário - FERROESTE, projeto que totalizou 6.920 m² de obras em silos, moegas e escritórios, com um investimento de 18 milhões de reais, em uma área de 50 mil m², cujo término de suas obras aconteceu no final de 2011. Desde sua inauguração, movimentou mais de 500.000 ton. de grãos, gerando empregos e fomentando o mercado agroindustrial (AB Agrobrazil). A figura 14 mostra uma imagem aérea da unidade. As coordenadas geográficas da unidade são: 24°59'24.5"S 53°19'19.0"W.



Figura 14. Visão superior da unidade de armazenamento – AB Agrobrazil LTDA.
Fonte: Google Maps.

3.2. Materiais e Equipamentos Utilizados

Para melhor compreensão, as medições realizadas foram divididas em três tópicos:

- Dispositivos Elétricos;
- Dispositivos Hidráulicos;
- Dispositivos Mecânicos.

3.2.1. Dispositivos Elétricos

Para medição dos valores de energia elétrica, utilizou-se um Analisador de Energia Modelo RE7080, marca Embrasul, a fim de realizar a leitura da Tensão (V), Corrente (A), Potências (kVA, kW e kVAr) e Fator de Potência. O equipamento (figura 14) é capaz de medir e armazenar esses dados para uma análise detalhada dos resultados. As leituras foram armazenadas a cada 200 milissegundos e foram realizadas durante o período de descarga dos grãos.

Na tabela 1, encontram-se as especificações técnicas do equipamento.

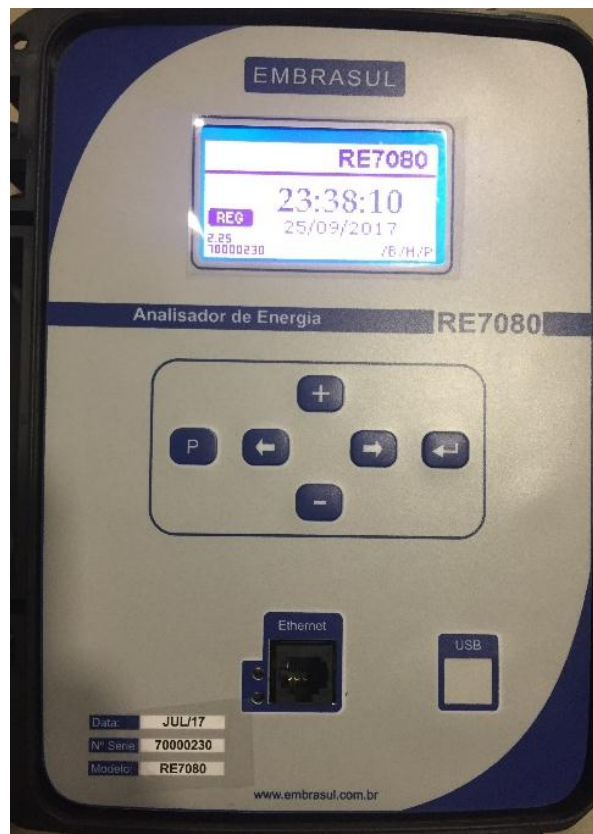


Figura 15. Analisador de energia Embrasul RE7080.

Tabela 1. Especificações técnicas do analisador de energia modelo RE7080

ESPECIFICAÇÕES	
Fabricante	Embrasul
Modelo	RE7080
Alimentação	
Vac	70 a 300 Vac
Vdc	100 a 300 Vdc
Consumo	5VA
Entradas de Tensão	
Número de Entradas	3 (VA, VB, VC) ou 4 (VA, VB, VC, VN)
Faixa de Medição	50 a 300Vac (Fase-Neutro) e 519V (Fase-Fase)
Resolução	0,01V
Precisão	0,20%
Impedância de entrada	2M
Amplitude de banda	1500Hz
Entrada de Corrente	
Número de Entradas	3 (IA, IB, IC) ou 4 (IA, IB, IC, IN)
Tipo:	Sensor flexível
Faixa de Medição	5A a 3000A
Resolução	0,01A
Precisão	0,20%
Amplitude de banda	1500Hz
Frequência Nominal	
Frequência	45 a 70Hz
Resolução	0,01Hz
Precisão	(+/-)0,01Hz
Sistema de amostragem	
Resolução	128 amostras por ciclo (Simultaneamente em todos os canais)
Intervalo de Integração	de 200 milissegundos a 10 minutos
Memória para registros	2Gb
Características Mecânicas e Ambientais	
Dimensões	270 x 180 x 100mm
Peso	1,5kg
Grau de Proteção	IP65
Isolação	2,5kV - 60Hz
Temperatura de Operação	-10°C a 60°C
Temperatura de Armazenamento	-20°C a 70°C
Umidade	0% a 95%, sem condensação

3.2.2. Dispositivos Hidráulicos

Os dispositivos hidráulicos, que compõem a plataforma de descarga, são a unidade hidráulica, formada por uma bomba hidráulica de engrenagem da Parker, modelo 20300C 5N3; um bloco de válvulas, utilizadas para acionamentos dos cilindros, e o reservatório do fluido hidráulico (figura 16). São dois cilindros paralelos com quatro estágios, sendo que, em cada estágio, há o curso de 1731mm, sendo seu curso total de 6924mm (figura 17).

Para a medição da pressão (kgf/cm²) do conjunto hidráulico, foi utilizado o manômetro analógico do próprio equipamento (figura 18), localizado na plataforma de descarga em questão. Os valores obtidos foram confrontados com os dados que o fabricante forneceu, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Especificações técnicas fornecidas pelo fabricante.

Plataforma de Descarga Traseira 21 metros	
Capacidade de Carga	90 toneladas
Comprimento	21 metros
Peso da Plataforma	20 toneladas
Largura	3 metros
Ângulo de basculamento	40°
Vazão da bomba	180 Lpm
Pressão máxima	190 bar
Potência do motor elétrico	50 cv
Tensão do motor elétrico	380 Vac

Fonte: SAUR, 2017.



Figura 16. Unidade Hidráulica – plataforma de descarga 21 metros.



Figura 17. Cilindro hidráulico – plataforma de descarga 21 metros.

A figura 18 mostra o manômetro analógico, montado à unidade hidráulica, utilizado para verificar a pressão hidráulica do sistema.



Figura 18. Manômetro da unidade hidráulica – plataforma de descarga 21 metros.

As especificações técnicas do cilindro e da unidade hidráulica são apresentadas nos anexos A e B.

3.2.3. Dispositivos Mecânicos

Os dispositivos mecânicos são compostos pela plataforma de descarga e a balança rodoviária da AB Agrobrazil.

Os dados referentes à plataforma de descarga estão apresentados na Tabela 2.

A balança rodoviária, instalada na unidade, é da marca Balanças Capital, modelo BC CONTROLLER 3.0, certificada pelo Inmetro. Com ela, foram obtidos os pesos totais do caminhão, antes e após a descarga do produto, permitindo conhecer o peso do produto descarregado. O indicador de pesagem é apresentado na figura 19.



Figura 19. Indicador de pesagem – balança rodoviária capital modelo CONTROLLER 3.0.

3.3. Metodologia

3.3.1. Cálculo das potências utilizadas nos dispositivos de comando da plataforma

Potência Mecânica da plataforma

A Potência Mecânica, utilizada para bascular a plataforma, é dada pela equação 18.

$$Pm2 = F \cdot v \quad (18)$$

Em que:

$Pm2$ = Potência Mecânica (W);

F = Força necessária para elevar a plataforma (N);

v = Velocidade (m/s).

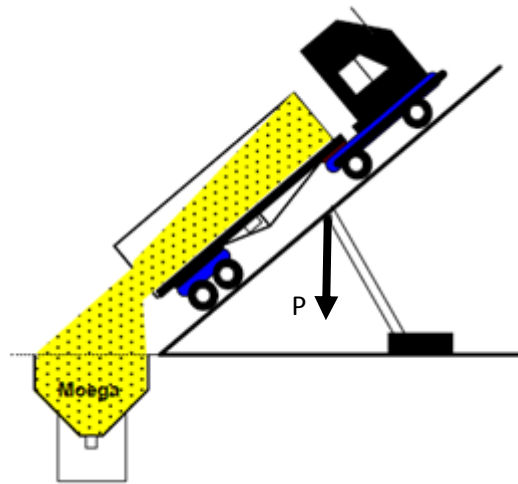


Figura 20. Força peso do caminhão carregado mais a plataforma.

Para calcular a Força, tem-se como base o peso da plataforma e do caminhão carregado, assim como a aceleração da gravidade. Para cálculo da força, utiliza-se a equação 19.

$$F = m \cdot g \quad (19)$$

Em que:

F = Força (N);

m = massa (kg);

g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²).

Para calcular a velocidade da potência, será utilizada a fórmula da velocidade, equação 20:

$$v = \frac{CC}{t} \quad (20)$$

Em que:

CC = Curso do Cilindro (m);

t = tempo de abertura do cilindro (s).

Potência Hidráulica

A Potência Hidráulica, necessária para atender à potência mecânica da plataforma, é dada pela equação 21.

$$Ph = 1,405 \cdot Q \cdot Pre \quad (21)$$

Em que:

Ph = Potência Hidráulica da bomba (W);

Q = Vazão (l/min);

Pre = Pressão (kgf/cm²).

Potência Mecânica do motor

A Potência Mecânica do motor, necessária para atender à potência da bomba hidráulica, é dada pela equação 22.

$$Pm1 = Pel \cdot \eta \text{ motor} \quad (22)$$

Em que:

Pm1 = Potência Mecânica do motor (W);

Pel = Potência Elétrica (W);

η motor = Rendimento do motor.

Potência Elétrica do motor

A Potência Elétrica, para acionar o motor elétrico, é apresentada na equação 23:

$$Pel = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (23)$$

Em que:

V = Tensão (V);

I = Corrente (A);

$\cos\varphi$ = Fator de Potência.

3.3.2. Cálculo dos rendimentos dos dispositivos de comando da plataforma

Os rendimentos dos dispositivos de comando da plataforma foram calculados de acordo com equações 24, 25 e 26.

$$\eta_{\text{plataforma}} = \frac{P_{m2}}{P_h} \quad (24)$$

$$\eta_{\text{bomba hidráulica}} = \frac{P_h}{P_{m1}} \quad (25)$$

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{plataforma}} \cdot \eta_{\text{bomba hidráulica}} \cdot \eta_{\text{motor}} \quad (26)$$

Em que:

$\eta_{\text{plataforma}}$ = Rendimento mecânico da plataforma;

$\eta_{\text{bomba hidráulica}}$ = Rendimento da bomba hidráulica;

η_{total} = Rendimento total do conjunto de acionamento da plataforma.

3.3.3. Cenários avaliados

Cenário 1: é caracterizado pela configuração original do sistema de tombamento, sem a instalação dos equipamentos de controle. Nesse cenário, foram coletadas grandezas elétricas, hidráulicas e mecânicas, para avaliação das condições iniciais de funcionamento do sistema (partida estrela-triângulo).

Para medição das grandezas elétricas, foi instalado o Analisador de Energia, nas três fases (R, S e T) do painel de controle do motor. O equipamento instalado obedece à ordem correta dos TP's e dos TC's, que serão ligados em suas respectivas fases, conforme mostrado na figura 20.

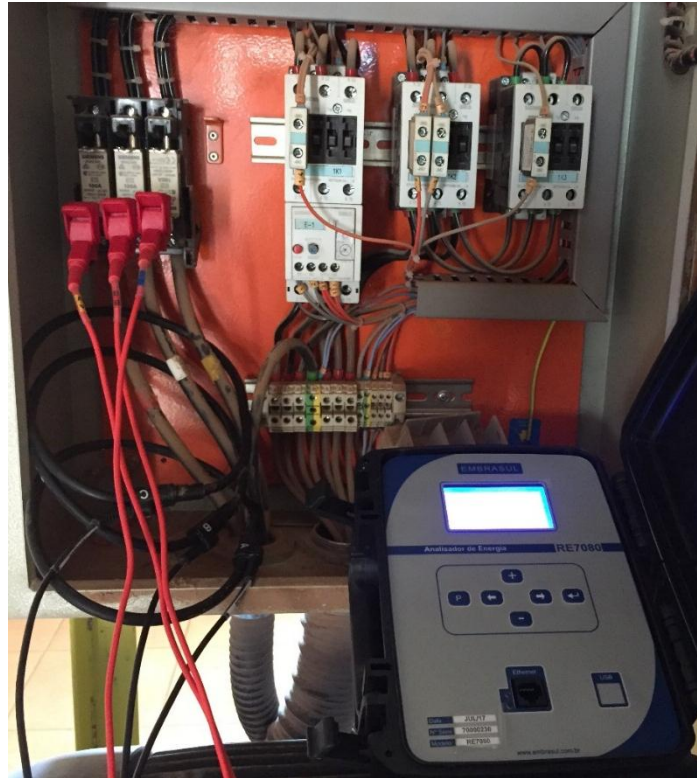


Figura 21. Painel de comando elétrico da unidade hidráulica com analisador de energia instalado.

O equipamento instalado e os registros dos dados foram feitos enquanto havia caminhões para descarregar na plataforma, a fim de verificar as potências demandadas pelo motor de indução trifásico. O analisador de energia foi parametrizado para realizar medições, em intervalos de 200ms.

As grandezas hidráulicas, necessárias ao cálculo da potência da unidade hidráulica são: pressão hidráulica, obtida a partir da leitura do manômetro instalado na bomba (figura 18), e vazão do fluido, obtida a partir do catálogo do fabricante (tabela 2).

As grandezas mecânicas, necessárias ao cálculo da potência mecânica utilizada na plataforma, são os pesos da plataforma, do caminhão e do produto, o comprimento dos cilindros e o tempo de elevação dos mesmos. Os pesos foram coletados de todos os caminhões que realizaram a descarga na plataforma. O caminhão foi pesado, primeiramente, carregado, recém-chegado à estação, e, novamente, após sua descarga, completamente vazio (figura 21).



Figura 22. Balança de entrada e saída da unidade de armazenamento AB Agrobrasil.

Os pesos utilizados nos cálculos seguiram a seguinte legenda:

PBT	PESO BRUTO TOTAL (PC+PL)
PC	PESO DO CAMINHÃO
PL	PESO LÍQUIDO (PBT-PC)
PP	PESO DA PLATAFORMA
PT	PESO TOTAL (PBT+PP)

No dia 27 de outubro de 2017, às 08:28, iniciaram-se as medições para o sistema de partida convencional estrela-triângulo. Foram descarregados 5 (cinco) caminhões em sequência, todos com trigo, sendo que o último caminhão saiu da plataforma às 09:36, finalizando a gravação do analisador de energia. Os dados do analisador foram descarregados no computador para análise e os pesos dos caminhões, cujas placas foram anotadas, foram informados pela AB Agrobrasil, conforme tabela 3:

Tabela 3. Pesos dos caminhões em estudo para o cenário 1.

CAMINHÃO	PBT (ton)	PC (ton)	PL (ton)
A	54,26	16,50	37,76
B	53,86	16,62	37,24
C	51,14	16,92	34,22
D	55,38	16,32	39,06
E	33,28	10,64	22,64

Para fins comparativos, foi estabelecida uma unidade de medida, dividindo-se a energia consumida durante o intervalo da medição, em kWh, pelo peso total do período da análise (equação 27). Esse peso total inclui o PBT (peso do caminhão carregado), mais o peso da plataforma, que, segundo o fabricante, possui 20 toneladas. Sendo assim:

$$E/T = \frac{kWh}{PT} \quad (27)$$

Em que:

E/T = Energia por Tonelada (kWh/ton);

kWh = Energia gasta no intervalo da medição;

PT = Peso Total do ciclo, considerando o PBT, mais o peso da plataforma.

Esse índice apresenta a quantidade de energia consumida, em kWh, por tonelada de produto que a plataforma precisa levantar. Com base nele, é possível realizar a comparação dos dois cenários, independentemente do número de ciclos, peso dos caminhões e do intervalo de tempo.

Cenário 2: é caracterizado pelo sistema de tombamento, funcionando com o inversor de frequência e com o CLP, para controle do motor elétrico de indução. De modo semelhante, nesse cenário, também foram coletadas grandezas elétricas, hidráulicas e mecânicas, para avaliação das condições de funcionamento do sistema.

Para medição das grandezas elétricas, foi instalado o Analisador de Energia nas três fases (R, S e T) do painel de controle do motor. O equipamento instalado obedece à ordem correta dos TP's e dos TC's, que serão ligados em suas respectivas fases, antes do inversor de frequência, conforme mostrado na figura 22.



Figura 23. Painel de comando elétrico da unidade hidráulica com analisador de energia, instalado com o inversor de frequência.

Evitando interferências no painel da AB Agrobrazil, os cabos de alimentação para o sistema de partida estrela-triângulo foram desconectados, conforme figura 23.

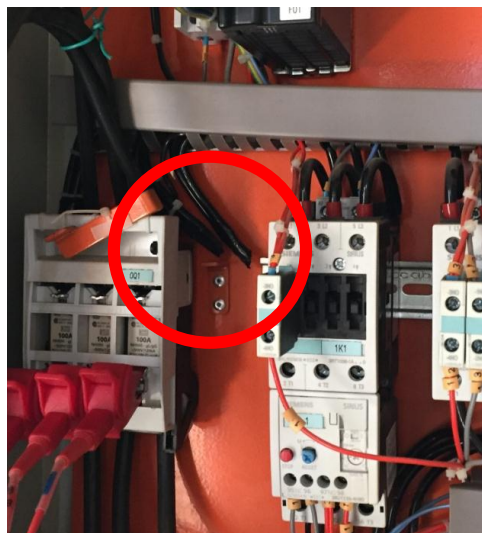


Figura 24. Cabos do sistema de partida estrela-triângulo desconectados.

Após a desconexão dos cabos, o inversor de frequência foi alimentado por um ramal externo e os cabos do motor foram arranjados no modo triângulo, sendo conectados ao inversor de frequência, conforme placa de identificação do motor, apresentada na figura 24.

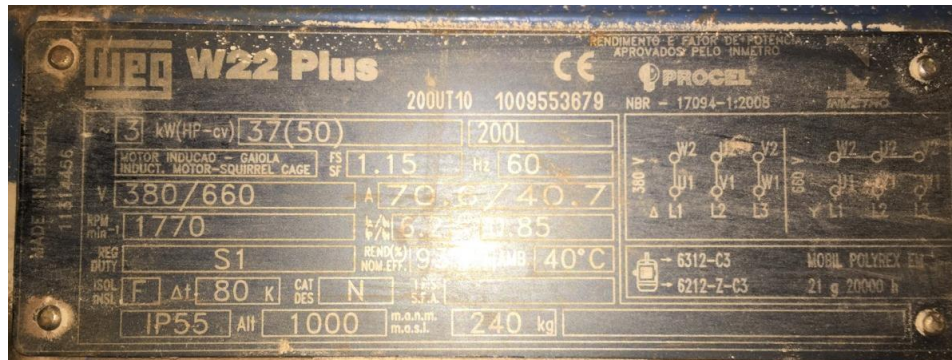


Figura 25. Placa de identificação do motor.

Para controlar o inversor de frequência, foi instalado um CLP da Siemens, modelo Logo 8. Tal CLP tem o papel de monitorar a botoeira de operação e o fim de curso da plataforma, fazendo com que o inversor seja ligado ou desligado, de acordo com a necessidade.

É importante salientar que a operação da plataforma se efetiva por *push-button*, ou seja, só opera com o botão pressionado; se o botão for solto, o equipamento tende a parar no local onde está; esse método se concretiza como um sistema de segurança, por envolver equipamentos que oferecem risco à vida e ao patrimônio.

A figura 25 apresenta o diagrama elétrico dos equipamentos que foram instalados.

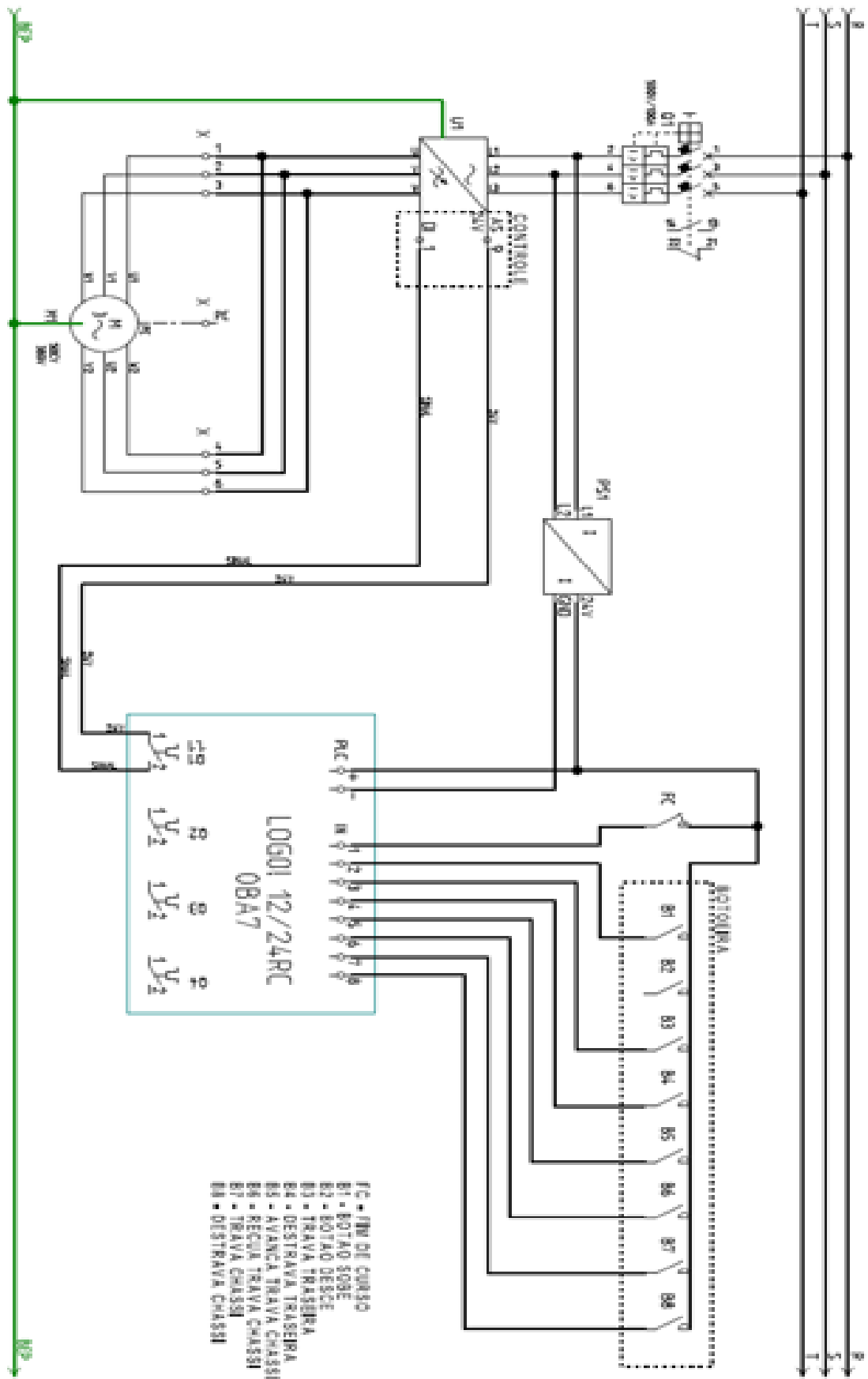


Figura 26. Diagrama multifilar de ligação do inversor de frequência.

O objetivo da aplicação do inversor de frequência é poder desligar o motor elétrico nos momentos em que seu uso não se faz necessário. Em vista disso, foi desenvolvida uma lógica de programação em *Ladder*, em que o CLP monitorava todos os botões, exceto o botão “desce”, utilizado para descer a plataforma, pois é justamente nesse momento que o inversor não é utilizado. Mediante o acionamento de qualquer outro botão, o CLP acionava o inversor. Para desligar o inversor, havia duas condições. A primeira, por tempo de inatividade dos botões: se, em 10 segundos, nenhum botão fosse pressionado, o inversor era desligado. Essa condição foi observada durante o experimento em momentos em que o operador fazia tarefas adjacentes ao tombador e o uso da bomba hidráulica não era necessário, como a limpeza em seu entorno, término de alguns processos da unidade, etc. A segunda condição para o desligamento do inversor era a combinação do “Fim de Curso de Subida” e o botão “sobe”, pois, dessa forma, entende-se que a plataforma chegou ao seu nível máximo, podendo a unidade ser desligada, não necessitando mais da bomba hidráulica.

Como a condição de partida do motor se evidencia ao pressionar qualquer botão da botoeira, exceto o botão “desce”, todas as operações que demandam pressão hidráulica foram atendidas com essa condição, ficando, assim, uma forma mais eficaz de controlar o inversor.

Os parâmetros de configuração do analisador de energia foram mantidos exatamente iguais ao primeiro levantamento, com intervalos de 200ms. As placas dos caminhões foram anotadas para aquisição dos respectivos pesos.

Após as instalações e condições, descritas anteriormente, no dia 11 de novembro de 2017, às 14:09, foram iniciadas as medições para o sistema de partida com inversor de frequência. Foram descarregados 7 (sete) caminhões em sequência, todos com milho, sendo que o último caminhão saiu da plataforma às 15:16; então, parou-se a gravação do analisador de energia. Os dados do analisador foram descarregados no computador para análise e os pesos dos caminhões foram informados pela AB Agrobrasil, conforme tabela 4.

Tabela 4. Pesos dos caminhões em estudo para o cenário 2.

CAMINHÃO	PBT (ton)	PC (ton)	PL (ton)
F	48,26	16,08	32,18
G	48,10	16,62	31,48
H	48,06	16,50	31,56
I	48,36	16,32	32,04
J	48,36	16,40	31,96
K	48,16	16,66	31,50
L	48,22	16,08	32,14

A fim de comparar com as medidas do sistema de partida estrela-triângulo, foi extraída a unidade de energia por tonelada, como apresentado anteriormente.

3.3.4. Cálculo dos Consumos de Energia e Produtividade da Plataforma

Com base no índice criado para fins de comparação, apresentado anteriormente, energia por peso (kWh/ton), é possível comparar os dois sistemas. O valor menor apresenta maior eficiência, uma vez que o índice divide a quantidade de energia gasta por um determinado tempo pelo peso total que a plataforma basculou, naquele mesmo intervalo de tempo. Portanto, o sistema que apresentar a menor quantidade de energia gasta, para erguer uma tonelada, é a mais eficiente. Com esses dois índices, é possível estabelecer uma porcentagem de eficiência de um em relação ao outro.

Além disso, foi avaliado o custo dos componentes necessários para implantação do sistema de partida por inversor de frequência, a fim de avaliar sua viabilidade econômica.

Para o cálculo do custo evitado de energia com a instalação do inversor de frequência, foi necessário obter dados referentes ao custo da energia elétrica que a empresa AB Agrobrazil paga à concessionária de energia (COPEL). A figura 26 apresenta uma dessas faturas.

Valores Faturados						
NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA N° 004.579.785 - SÉRIE B						
Emitida em 27/09/2017						
Produto Descrição	Un.	Grandezas Faturadas	Valor Unitário	Valor Total	Base de Cálculo	Aliq. ICMS
ENERGIA ELET CONSUMO PONTA	kWh	6955,00	1,874515	13.037,25	13.037,25	29,00
ENERGIA ELET CONSUMO F PONTA	kWh	75803,00	0,444628	33.704,12	33.704,12	29,00
ENERGIA REAT EXC F PONTA	kWh	1750,00	0,398269	696,97	696,97	29,00
DEMANDA	kW	714,42	22,635551	16.171,29	16.171,29	29,00
ENERGIA CONS. B.AMARELA	kWh			1.953,84	1.953,84	29,00
ENERGIA CONS. B.VERMELHA	kWh			1.035,17	1.035,17	29,00
CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO				53,75		
<i>Segunda Via</i>						
Base de Cálculo do ICMS		Valor ICMS		Valor Total da Nota Fiscal		
66.598,64		19.313,58		66.652,39		
Reservado ao Fisco: E549.73FD.75E5.78CD.E218.7BC7.AC7D.3398						

Figura 27. Fatura de energia elétrica emitida pela Copel à empresa AB Agrobrasil.
Fonte: AB Agrobrasil.

Como os dados de energia levantados nos dois cenários foram em horário fora de ponta, dividiu-se o valor total da fatura de energia, contemplando todas as variáveis tarifárias e tributárias, pela quantidade de energia ativa. Dessa forma, criou-se uma tarifa única contemplando divisões tarifárias e tributárias, facilitando o cálculo estimado de redução de custos (equação 28).

$$TU = \frac{VTF}{EAFP} \quad (28)$$

Em que:

TU = Tarifa Única (R\$/kWh);

VTF = Valor Total da Fatura (R\$);

EAFP = Energia Ativa Fora de Ponta (kWh).

Para realizar o estudo de redução de consumo, foi informado pela AB Agrobrasil o peso líquido dos produtos recebidos pelo período de 1 ano, contando de outubro de 2016 a setembro de 2017 (mês em que se tem uma fatura de energia). Esses valores são apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Peso líquido mensal de produtos recebidos, de outubro de 2016 a setembro de 2017.

MÊS	RECEBIDO (ton)
out/16	9.407,06
nov/16	12.837,68
dez/16	16.735,33
jan/17	6.509,60
fev/17	21.120,50
mar/17	9.135,70
abr/17	1.713,98
mai/17	8.732,40
jun/17	15.780,14
jul/17	28.114,16
ago/17	9.134,98
set/17	7.769,38
TOTAL	146.990,91

Fonte: AB Agrobrasil, 2017.

Para projeção dos valores obtidos, foi calculado o Peso Líquido médio dos valores medidos. Dividindo esse Peso Líquido médio, pelo valor de recebimento mensal, estimou-se a quantidade de ciclos em um mês. O referido dado foi importante, pois, para cada ciclo, foram acrescentadas 20 toneladas (Peso da Plataforma). Além disso, foi calculado o Peso do Caminhão médio, que também foi acrescentado ao valor de cada ciclo, sendo assim possível estipular qual o Peso Total que foi basculado em cada mês (equação 29).

$$PTmês = PLmês + \left(\frac{PLmês}{PLmédio} \cdot PP \right) + \left(\frac{PLmês}{PLmédio} \cdot PCméd \right) \quad (29)$$

Em que:

PTmês = Peso Total basculado no mês (ton);

PLmês = Peso Líquido no mês (ton);

PLmédio = Peso Líquido médio (ton);

PP = Peso da Plataforma (ton);

PCméd = Peso Caminhão médio (ton).

Após a definição do Peso Total, basculado por mês, o valor foi multiplicado pelo índice de energia por tonelada, para obter o total de energia elétrica, consumida em cada mês, pela plataforma de descarga, no cenário atual e no cenário com inversor de frequência (equação 30).

$$EC_{\text{mês}} = PT_{\text{mês}} \cdot E/T \quad (30)$$

Em que:

$EC_{\text{mês}}$ = Energia Consumida no mês (kWh/mês);

$PT_{\text{mês}}$ = Peso Total basculado no mês (ton/mês);

E/T – Energia por Tonelada (kWh/ton).

Em seguida, essa quantidade de energia foi multiplicada pela Tarifa Única (TU), para verificar qual o valor gasto com energia elétrica consumida com a plataforma, para os dois cenários em estudo. Foi calculada, então, a diferença entre esses valores e verificado o custo mensal evitado de energia elétrica (equação 31). Posteriormente, foi calculado também o custo anual evitado.

$$Vm_{\text{mês}} = EC_{\text{mês}} \cdot TU \quad (31)$$

Em que:

$Vm_{\text{mês}}$ = Valor pago no mês em energia na plataforma de descarga (R\$/mês);

$EC_{\text{mês}}$ = Energia Consumida no mês (kWh/mês);

TU = Tarifa Única (R\$/kWh).

Outro benefício, esperado com a aplicação do sistema de partida com inversor de frequência, foi o aumento de produtividade, uma vez que esse equipamento permite aumentar a rotação nominal do motor em uma determinada porcentagem. Para tal experimento, foi realizado um basculamento com a rotação 20% acima da nominal. Por meio da medição do tempo que a plataforma levou para atingir seu nível máximo, foi possível determinar a porcentagem da diminuição desse tempo e, com isso, o ganho em produtividade da plataforma, que é, sem dúvidas, um benefício atrativo para as empresas de recebimento, em períodos de safra, em que a fila para descarregamento é bem grande.

3.3.5. *Payback* Descontado

Para a aquisição dos equipamentos necessários para adaptar a plataforma de descargas com um sistema de partida, utilizando inversor de frequência, considerando todos os equipamentos descritos anteriormente, seria necessário um investimento de

cerca de R\$ 10.000,00 (dez mil reais). Esse valor será utilizado como referencial para implantação do sistema.

Outro valor considerado é o custo da energia evitado em um ano, proporcionado pelo inversor de frequência, ou seja, o retorno líquido anual do investimento necessário para instalação do inversor de frequência. Os fluxos de caixa, que representam o investimento inicial (seta para baixo) e os custos evitados (setas para cima), são apresentados na Figura 27.

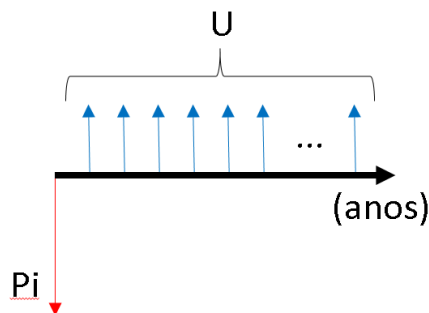


Figura 28. Série uniforme contendo investimento inicial e retorno líquido anual.

Essa série pode ser interpretada pela equação 32.

$$PAYBACK_{descontado} = \frac{\ln\left(\frac{U}{U-P \cdot TMA}\right)}{\ln(1+TMA)} \quad (32)$$

Em que:

U = Custo anual de energia elétrica evitado (R\$);

Pi = Investimento inicial realizado (R\$);

TMA = Taxa mínima de atratividade decimal.

Esse cálculo indica o tempo de retorno do capital investido, considerando o valor temporal do dinheiro.

Para o estudo, a taxa mínima de atratividade foi considerada 6% ao ano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Potências e Rendimentos dos Dispositivos de Comando da Plataforma

Para o cálculo da Potência Mecânica da plataforma, foi utilizada a equação 18. Os dados coletados foram os seguintes:

Peso bruto total do caminhão, mais peso da plataforma (PT) = 75,38ton.

OBS: Utilizou-se, para esses cálculos, o caminhão mais pesado dentre as amostras realizadas (55,38 toneladas de PBT).

Tempo total para bascular a plataforma (t) = 164s

Curso total dos cilindros (CC) = 6,92m

Com base nesses dados, a Potência Mecânica necessária para bascular a plataforma foi de: **Pm2 = 31,17kW**.

Para o cálculo da Potência Hidráulica, foi utilizada a equação 21. Os dados coletados foram os seguintes:

Vazão (Informado pelo fabricante) (Q) = 180 l/min;

Pressão (medido no manômetro para o basculamento do caminhão) (Pre) = 130 kgf/cm²;

Com base nesses dados, a Potência Hidráulica necessária para bascular a plataforma foi de: **Ph = 32,88kW**.

Para o cálculo da Potência Mecânica do motor, foi utilizada a equação 22.

Potência elétrica (Pel) = 42,76kW;

Rendimento do Motor (η) = 90%;

Com base nesses dados, a Potência Mecânica do motor necessária foi de: **Pm1 = 38,48kW**.

O valor da Potência Elétrica (Pel) é o mesmo utilizado para o cálculo da Pm1. Esse valor foi obtido pelo analisador de energia, mas poderia ser calculado também a partir dos valores de tensão, corrente e fator de potência obtidos do mesmo equipamento. Portanto, a potência elétrica do motor foi de: **Pel = 42,76kW**.

Para o cálculo de Rendimentos, foram utilizadas as equações 24, 25 e 26.

η bomba hidráulica = 85,45%;

η plataforma = 94,8%;

η total = 72,9%.

4.1.1. Resultados obtidos para o Cenário 1

A figura 28 apresenta a potência ativa, coletada no sistema de partida, utilizando chave estrela-triângulo.

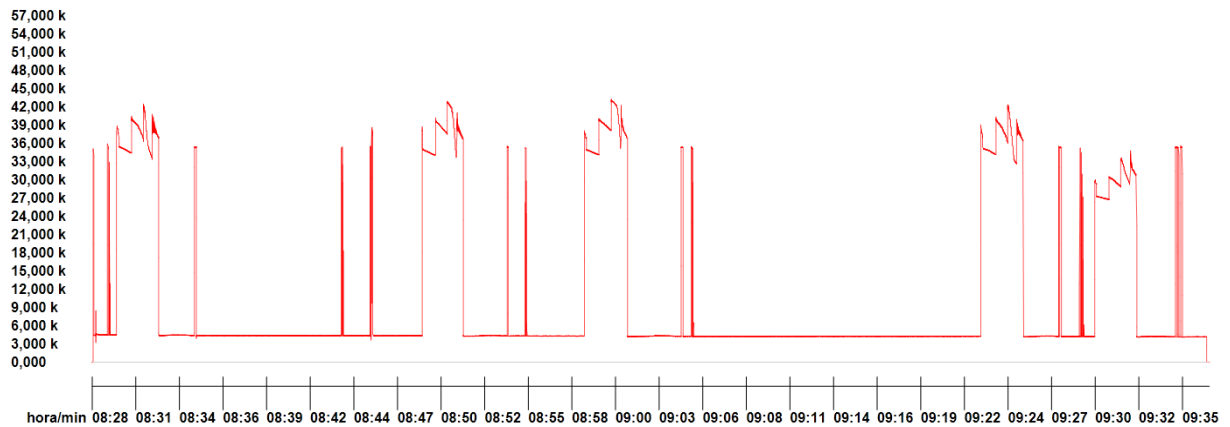


Figura 29. Gráfico da potência ativa para partida em estrela-triângulo.

Pode-se observar que, nos intervalos em que a plataforma está descendo ou até mesmo quando está inoperante, o motor não é desligado, implicando em um consumo de energia desnecessário. A potência medida, durante esses intervalos de inoperância, foi de aproximadamente **4,5 kW**.

A tabela 6 apresenta os valores coletados pelo analisador de energia:

Tabela 6. Grandezas elétricas lidas pelo analisador de energia no cenário 1

DATA	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO	
27/09/2017	08:28:46	09:37:15	01:08:29	
TENSÃO				
FASE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	
A	223,080	216,860	221,760	
B	223,830	217,690	222,430	
C	223,000	216,710	221,590	
CORRENTE				
FASE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	
A	126,435	0	36,645	
B	124,144	0	35,209	
C	128,072	0	36,006	
POTÊNCIAS				
FASE	kWh	kVAh	kVAr	F. P.
A	4,340	8,711	7,553	0,498
B	3,823	8,404	7,484	0,455
C	4,170	8,533	7,445	0,489
TOTAL	12,332	15,715	22,483	0,481

O consumo de energia ativa, nesse intervalo de tempo, foi de **12,332kWh**.

A tabela 7 apresenta o índice de energia por tonelada, que foi de **35,44.10⁻³ kWh/ton**.

Tabela 7. Cálculo do índice de energia por tonelada

CAMINHÃO	PBT (ton)	PC (ton)	PL (ton)
A	54,26	16,50	37,76
B	53,86	16,62	37,24
C	51,14	16,92	34,22
D	55,38	16,32	39,06
E	33,28	10,64	22,64
Total	247,92	77,00	170,92
PT (PBT total + PP)	347,92		
Nº CICLOS	5		
CONSUMO (kWh)	12,332		
kWh/ton	0,0354449		

4.1.2. Resultados obtidos para o Cenário 2

A figura 29 apresenta a potência ativa, coletada no sistema de partida, com inversor de frequência.

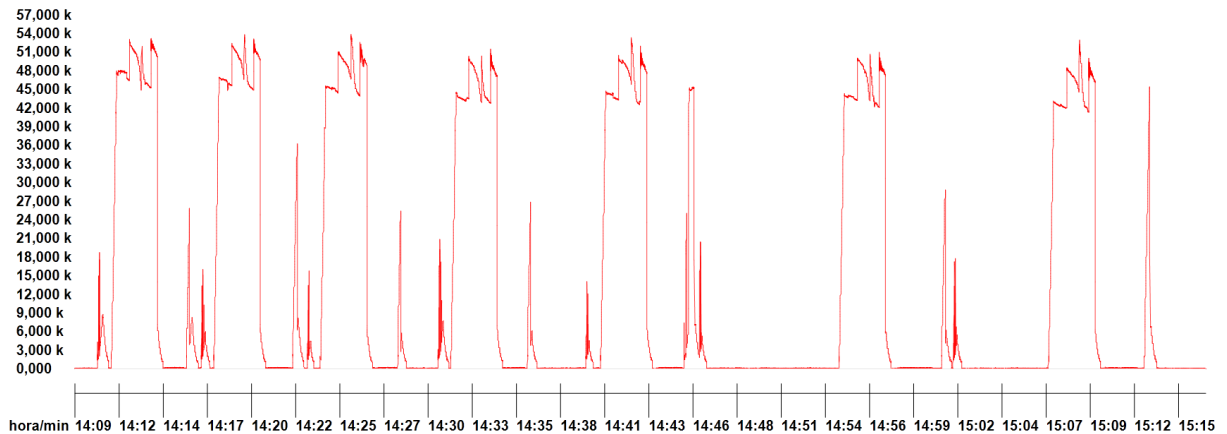


Figura 30. Gráfico da potência ativa para partida com inversor de frequência.

Observa-se que, com o inversor de frequência, a potência ativa vai a praticamente zero, em momentos em que seu uso não se faz necessário; entretanto, apresenta uma potência significativamente maior do que a estrela-triângulo, nos momentos de utilização. Esse aumento pode ser explicado pela mudança do ponto de operação da curva de rendimento da bomba hidráulica.

A tabela 8 apresenta os valores medidos pelo analisador de energia:

Tabela 8. Grandezas elétricas lidas pelo analisador de energia no cenário 2

DATA	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO	
08/11/2017	14:09:34	15:16:51	01:07:17	
TENSÃO				
FASE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	
A	222,370	215,870	220,910	
B	222,520	215,960	220,980	
C	222,150	215,280	220,630	
CORRENTE				
FASE	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	
A	86,072	0	22,113	
B	80,617	0	20,440	
C	83,126	0	21,223	
POTÊNCIAS				
FASE	kWh	kVAh	kVA _r	F. P.
A	5,428	5,448	0,460	0,996
B	5,021	5,041	0,455	0,996
C	5,204	5,226	0,475	0,996
TOTAL	15,654	15,715	1,390	0,996

O consumo de energia ativa, nesse intervalo de tempo, foi de **15,654kWh**.

A tabela 9 apresenta o índice de energia por tonelada, que foi de **32,78.10⁻³ kWh/ton**.

Tabela 9. Grandezas elétricas lidas pelo analisador de energia no cenário 2

CAMINHÃO	PBT (ton)	PC (ton)	PL (ton)
F	48,26	16,08	32,18
G	48,10	16,62	31,48
H	48,06	16,50	31,56
I	48,36	16,32	32,04
J	48,36	16,40	31,96
K	48,16	16,66	31,50
L	48,22	16,08	32,14
Total	337,52	114,66	222,86
PT (PTB tot + PP)	477,52		
Nº DE CICLOS	7		
CONSUMO (kWh)	15,654		
kWh/ton	0,0327819		

4.1.3. Redução do Consumo de Energia e Melhoria de Produtividade

A partir dos dados obtidos, pode-se observar que a quantidade de energia necessária para se bascular uma tonelada é sensivelmente menor no sistema, com inversor de frequências, do que no sistema com a chave estrela-triângulo.

A tabela 10 apresenta a TU (tarifa única), criada para calcular o valor em reais para cada kWh de energia, consumida pela plataforma de descarga.

Tabela 10. Cálculo da Tarifa Única (TU).

TARIFA DE ENERGIA COPEL SETEMBRO 2017	
ENERGIA ATIVA FORA DE PONTA	75803kWh
VALOR TOTAL DA FATURA	R\$ 66.652,39
TARIFA ÚNICA	0,879284

Para projeção dos valores obtidos, foram calculados a média total do Peso Bruto Total (PBT), do Peso do Caminhão (PC) e do Peso Líquido (PL), de todos os caminhões dos dois experimentos. Esses valores são, respectivamente, 48,79ton, 15,97ton e 32,82ton.

Considerando esses valores, é possível apresentar a tabela 11, contemplando uma estimativa do número de ciclos em um mês, o PT (peso total basculado em um mês), energia consumida em ambos os cenários e energia evitada, se o inversor de frequência estivesse instalado.

Tabela 11. Estimativa de consumo e valor evitado de energia e custos.

MÊS	RECEBIDO (PL) (ton)	N° DE CI- CLOS	PTmês (ton)	ESTRELA TRIÂNGULO		INVERSOR		Valor evitado	
				ECmês (kWh)	Vmês (R\$)	ECmês (kWh)	Vmês (R\$)	ECmês (kWh)	Vmês (R\$)
out/16	9.407,06	287	19.719,04	698,94	614,57	646,43	568,39	52,51	46,17
nov/16	12.837,68	391	26.910,29	953,83	838,69	882,17	775,68	71,66	63,01
dez/16	16.735,33	510	35.080,53	1.243,43	1.093,33	1.150,01	1.011,18	93,52	82,14
jan/17	6.509,60	198	13.645,40	483,66	425,27	447,32	393,32	36,34	31,95
fev/17	21.120,50	644	44.272,70	1.569,24	1.379,81	1.451,34	1.276,14	117,90	103,67
mar/17	9.135,70	278	19.150,22	678,78	596,84	627,78	552,00	51,00	44,84
abr/17	1.713,98	52	3.592,84	127,35	111,97	117,78	103,56	9,57	8,41
mai/17	8.732,40	266	18.304,82	648,81	570,49	600,07	527,63	48,75	42,86
jun/17	15.780,14	481	33.078,26	1.172,46	1.030,92	1.084,37	953,47	88,09	77,46
jul/17	28.114,16	857	58.932,79	2.088,87	1.836,71	1.931,93	1.698,71	156,94	138,00
ago/17	9.134,98	278	19.148,71	678,72	596,79	627,73	551,95	50,99	44,84
set/17	7.769,38	237	16.286,14	577,26	507,58	533,89	469,44	43,37	38,14
TOTAL	146.990,91	4479	308.121,73	10.921,35	9.602,97	10.100,81	8.881,48	820,55	721,49

Com base nesses dados, o retorno líquido anual, com a instalação do inversor de frequência, é de R\$ 721,49 (setecentos e vinte um reais e quarenta e nove centavos).

Outro fator observado foi o aumento de produtividade, com o inversor ajustado para operar a 20% acima da rotação nominal. Nesse caso, a plataforma levou 2 minutos e 14 segundos para bascular, sendo que, anteriormente, o tempo era de 2 minutos e 44 segundos. Verifica-se um aumento de quase 19% na velocidade de basculamento, sendo que essa redução no tempo total pode ser muito atrativa em períodos em que existem muitos caminhões para ser descarregados.

4.1.4. *Payback* Descontado

Após a aquisição de todos os dados necessários, o cálculo do *Payback* descontado foi realizado a partir da equação 32, apresentando um resultado para o retorno do investimento igual a 31 anos. Considerando que esse tempo de retorno é muito longo, inclusive bem acima da vida útil dos equipamentos que seriam instalados, conclui-se que o investimento é inviável economicamente, para as condições particulares apresentadas nesse trabalho.

5. CONCLUSÃO

A aplicação do inversor de frequência para redução de consumo de energia elétrica na plataforma de descarga é real, pois o inversor apresentou um resultado em termos de eficiência energética, relativamente melhor do que o sistema convencional de partida estrela-triângulo. Os cálculos de rendimento possibilitaram o entendimento de que essa eficiência é passível de ser melhorada, a partir da aplicação de componentes de melhor desempenho, como motores de alto rendimento, bombas hidráulicas com menores perdas, etc.

A potência elétrica necessária para bascular a plataforma é menor no sistema de partida estrela-triângulo, se comparada com o inversor de frequência, porém, esse sistema opera continuamente, inclusive, em momentos desnecessários, e é nesses momentos que o inversor de frequência apresenta uma pequena vantagem, pois seu consumo é praticamente zero. Comparando essas duas situações, o inversor de frequência evidencia um consumo de energia por tonelada de basculamento, sensivelmente inferior ao sistema convencional.

Além do consumo de energia ser menor, o inversor de frequência possibilita aumentar a vazão da bomba hidráulica, uma vez que é possível aumentar o giro nominal do motor de indução trifásico. Essa pode ser uma grande vantagem para as unidades de armazenagem, podendo se tornar um equipamento importante contra as filas extensas e a demora para o recebimento do produto, sendo que o inversor pode agilizar em até 19% a velocidade de descarga, se comparado com o sistema atual.

Entretanto, quando foi calculado o *Payback* descontado (31 anos aproximadamente), constatou-se que a instalação de um inversor de frequência e um CLP, para o controle da unidade hidráulica, não é viável, uma vez que seu investimento pode ser considerado alto, frente ao valor evitado anual que o sistema proporciona. Esse valor é bastante superior à vida útil dos equipamentos empregados, que costuma ser de 10 a 15 anos, inviabilizando seu investimento.

Como sugestões para trabalhos futuros, é importante fazer a avaliação de uma unidade hidráulica para plataforma de descarga, utilizando motor de alto rendimento, assim como estudo da formação de filas nas unidades de armazenamento, visando avaliar o impacto que a agilidade do processo possui.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB AGROBRASIL. **Dados Históricos e Técnicos da Empresa**. Disponível em <<http://www.abagrobrasil.com.br/empresa.php>> Acesso em: 10/01/2018

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n. 414, de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>> Acesso em: 01 ago. 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – V.4 – Safra 2016/17 – N. 10 – Décimo Levantamento | Julho 2017**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_07_12_11_17_01_boletim_graos_julho_2017.pdf> Acesso em: 02 ago. 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2016/2017)**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 18 jul. 2017.

FIALHO, A. Bustamante. **Automação Hidráulica – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 5. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2010.

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

FRANCHI, C. M. **Inversores de Frequência – Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2010.

HYDRACOMPANY. **Curso de Hidráulica**. HydraCompany Materiais Hidráulicos. Ltda. Porto Alegre, RS, 2014.

LINSINGEN, I. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 3ª. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2008.

NEVES, C. A. **Melhoria na Estação de Tratamento de Efluentes de uma Empresa Metal Mecânica de Produção de Componentes Hidráulicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Pós-Graduação, UFRGS, Porto Alegre, RS, 2005.

OLIVEIRA, A. J. **Fundamentos de automação Industrial**. São Paulo: Ed. do Senai, 2004.

ONU. **The secretary-General's Advisory Group on Energy and Climate Change, Energy for a sustainable future: Report and Recommendations**, Nações Unidas, Nova Iorque, Abril de 2010.

PALMIERI, A. C. **Manual de Hidráulica Básica**. 10. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1997.

PARKER. **Apostila M2001-1 BR – Tecnologia Hidráulica Industrial**. Parker Hannifin Ind. Com. Ltda - Jacareí, SP, 1999.

PORTAL BRASIL. **Economia e Emprego – Agroindústria**. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2011/02/agroindustria-brasileira-cresceu-4-7>> Acesso em 03 de ago. 2017.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. – São Paulo: Prentice Hall, 2005.

SAUR. **Plataforma de Descarga 21 metros**. Disponível em <<http://www.saur.com.br/pt/agricola/plataformas-de-descarga-tombadores/plataforma-de-descarga-traseira-21-metros>> Acesso em: 01 ago. 2017.

SELENE, Robson. **Automação da Produção: Uma abordagem gerencial**. Intersa- veres - Curitiba, PR, 2013.

SIEMENS, AG INDUSTRY. **Linha de CLP SIMATIC S7-1500**. Disponível em <http://www.automation.siemens.com/wcmsnewscenter/details.aspx?xml=/content/10001666/en/as/Pages/2013_08_27_pct_engineered_systems.xml&xsl=publication-en-www4.xsl> Acesso em: 22 fev. 2018.

SIEMENS, AG INDUSTRY. **SIMATIC S7-1500 GETTING STARTED**. *Sector Postfach*: Nürnberg Germany, 2014.

SILVA, Juares de Souza e. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Aprenda Fácil – UFV. Viçosa, MG, 2008.

SILVA, L. C. da. **Estruturas para Armazenagem de Grãos a Granel**. Editora da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2010.

SILVA, L. C. da. **Unidades Armazenadoras: Planejamento e Gerenciamento Otimizado**. Editora da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2006.

SZPAK, Rodrigo. **Análise Teórico-Experimental do Comportamento Das Pressões em Posicionadores Hidráulicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pós-Graduação – UFSC – Florianópolis, SC, 2008.

WEG. **DT - 6 Motores elétricos assíncronos e síncronos - Especificação, características e manutenção**. WEG Equipamentos Elétricos S.A. - Jaraguá do Sul, SC, 2015.

WEG. **Guia de Aplicação de Inversores de Frequência 3ª Edição**. WEG Equipamentos Elétricos S.A. - Jaraguá do Sul, SC, 2005.

ANEXOS

ANEXO A – Especificações técnicas do cilindro hidráulico

ANEXO B – Diagrama hidráulico da unidade hidráulica

ANEXO A

DATA SHEET - CILINDRO TELESC. (PLATAFORMA)

Código:

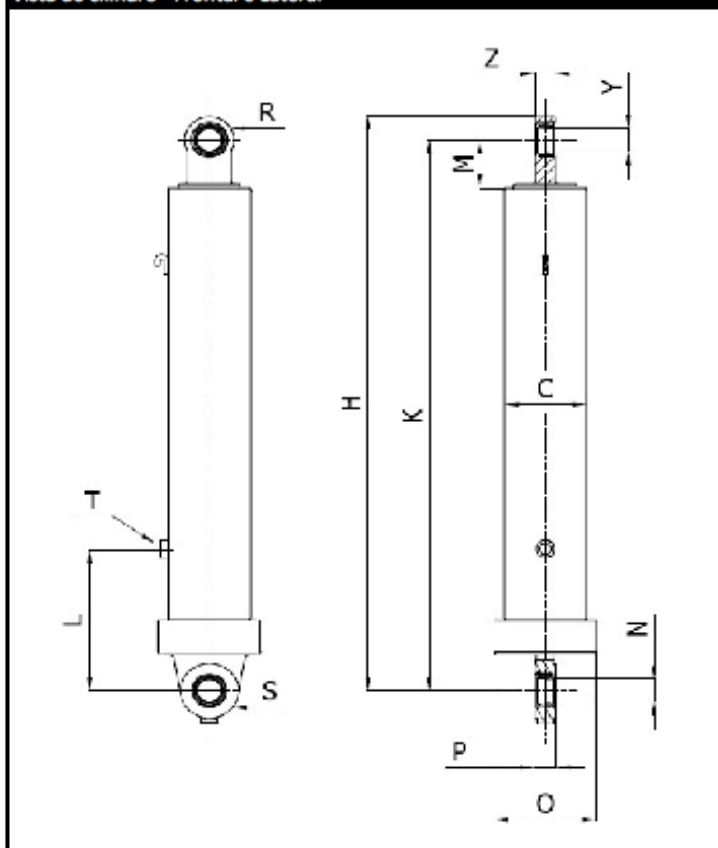
4733300E

Descrição:

CTM - R/R - 214 - 4 - 6924 - 2308



Vista do cilindro - Frontal e Lateral



Dimensões

Dimensão	Valor	Unidade
A		mm
B		mm
C	239,7	mm
D		mm
E		mm
F		mm
G		mm
H	2370	mm
I		mm
J		mm
K	2308	mm
L	290	mm
M	105	mm
N	60	mm
O	270	mm
P	50,8	mm
Q		mm
R	62	mm
S	65	mm
T	1"-NPT	
U		mm
V		mm
W		mm
X		mm
Y	60	mm
Z	50,8	mm

Especificações

Peso do cilindro	452 kg
Pressão máxima	190 bar
Volume estendido	230 L
Carga máxima do primeiro estágio	68 ton

Informações técnicas

O mecanismo de levantamento do cilindro não deve ser utilizado como membro da estrutura ou ser submetido a cargas laterais.
Nunca exceder a pressão máxima.

Estágios	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	Total
Diâmetro efetivo	214	191	169	149				
Curso (mm)	1731	1731	1731	1731				6924

ANEXO B

