

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO
PARA CONTROLE DE DOSAGEM DE RAÇÃO ANIMAL**

Rodrigo Bönemann Fehrenbach

Lajeado, junho de 2017

Rodrigo Bönemann Fehrenbach

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE DOSAGEM DE RAÇÃO ANIMAL

Monografia apresentada ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Ms. Henrique Worm

Lajeado, junho de 2017.

Rodrigo Bönemann Fehrenbach

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLE DE DOSAGEM DE RAÇÃO ANIMAL

A banca examinadora abaixo aprova a Dissertação ao Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Prof. Ms. Henrique Worm – Orientador
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Anderson Antônio Giacomolli
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Juliano Schirmbeck
Centro Universitário Univates

Lajeado, junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que esteve sempre ao meu lado e apoiando para com os estudos, a minha noiva Patrícia que aguentou firme comigo a peleia dos trabalhos e estudos, muitas vezes me auxiliando ou na maioria puxando a minha orelha por deixar tudo na última hora.

Agradeço a empresa STW Soluções em Automação pela oportunidade dada para que pudesse estudar. Aos amigos e colegas da empresa e em especial, Estevan e Augusto, que algumas vezes auxiliaram com o desenvolvimento de relatórios de dados de fábrica, onde não tinham para que pudesse realizar melhores análises.

Agradeço aos coordenadores e supervisores da Fábrica de Ração da BRF unidade Arroio do Meio, em disponibilizar a mesma para realização dos testes e ao Valter Sbaraini por liberar as unidades da BRF para que pudesse realizar o trabalho.

Um forte agradecimento ao meu orientador Prof. Ms. Henrique Worm, pelas dicas, correções, por aguentar várias ligações, mensagens e e-mails com dúvidas, mas sempre muito bem esclarecidas.

RESUMO

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado para fábricas de ração animal, com o intuito de realizar melhorias no processo de dosagem, com enfoque na conformidade e a eficiência no processo. O trabalho iniciou-se a partir de análise de dados fornecidos por duas empresas, onde identificou-se a necessidade de um sistema que melhore a conformidade das dosagens, visando reduzir os erros e desperdícios do processo atual, sem afetar a eficiência do sistema. O sistema irá atuar no controle de roscas dosadoras comandadas por inversor de frequência, com base em informações de uma balança industrial. Atualmente, as empresas estudadas possuem um sistema automatizado do processo, porém diversos parâmetros são informados manualmente pelo operador, gerando oscilações e erros de dosagem esporádicos. No intuito de amenizar estas oscilações, para que o erro tenda a zero, identificou-se a necessidade de alterar o software de dosagem atual, substituindo os parâmetros informados manualmente pelo operador, por uma lógica automatizada que calcule as velocidades das roscas dosadoras, para que o sistema seja preciso e eficiente. O software desenvolvido segue os padrões da IEC 61131, podendo ser aplicado em qualquer Controlador Lógico Programável que siga esta norma.

Palavras-chave: Dosagem, Ração, Roscas Dosadoras, CLP.

ABSTRACT

This paper proposes the development of an automated system for animal ration industries, aiming improvements on the dosing process, focusing on efficiency and conformity. The paper is based on an analysis of data provided by two industries, where there's the need of a system that improves the conformity of dosing, aiming on reduction of error and wasting of the actual process, without affecting the efficiency of the system. the system will control the dosing thread commanded by Frequency Inverters, based on information of an industrial balance. Actually, the studied companies have automation, but several parameters are informed manually by the operator, causing oscillations and sporadic dosing errors. So, attending to reduce the error to zero, this paper proposes a new dosing software, replacing the manual parameters by an automated logic that calculates the speed of dosing, aiming precision and efficiency. The developed software follows the IEC 61131 standard, being able to apply it on any PLC that follows this normative.

Keywords: Dosing, Ration, Dosing threads, PLC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem de um supervisor de Fábrica.	9
Figura 2 – Transportadora em U (Esquerda) e Transportadora Tubular (Direita).	11
Figura 3 – Transportadora em U em partes.	12
Figura 4 – Gaveta fechada (esquerda) e gaveta aberta (direita).	13
Figura 5 – Sistema Akos de Microdosagem de Premix com Grade Hidráulica – MIX10.	14
Figura 6 – Ilustração do sistema de pesagem.	15
Figura 7 – Corte do sensor capacitivo de proximidade.	18
Figura 8 – Comportamento do oscilador em um sensor capacitivo.	18
Figura 9 – Exemplo de aplicação do sensor de nível capacitivo.	19
Figura 10 – Estrutura de um sensor indutivo.	19
Figura 11 – Comportamento do oscilador em um sensor indutivo.	20
Figura 12 – Cabeça de um transportador redler e instalação do sensor de embuchamento. ...	20
Figura 13 – Estrutura de um sensor magnético a esquerda e o funcionamento a direita.	21
Figura 14 – Sensor de proximidade para ranhura em T (Festo), 1 – Ranhura, 2 – Carcaça do cilindro pneumático e 3 – Sensor do tipo T.	21
Figura 15 – Exemplo de inversor de frequência.	22
Figura 16 – Funcionamento de uma válvula pneumática.	23
Figura 17 – Diagrama de componentes de um CLP.	24
Figura 18 – Exemplo de estrutura de um CLP modular.	25
Figura 19 – Exemplo de sistema SCADA desenvolvido em Elipse E3.	27
Figura 20 – Fluxo de dosagem.	30
Figura 21 – Fluxograma de dosagem existente.	30
Figura 22 – Tela de configuração de parâmetros do sistema existente.	31
Figura 23 – Fluxograma de dosagem proposto.	33

Figura 24 – Alterações das telas de parâmetros.	37
Figura 25 – Fluxograma de calibração.	37
Figura 26 – Tela de parâmetros de Calibração.	38
Figura 27 – Bloco de escalonamento explodido utilizando FBD.	40
Figura 28 – Bloco Escala no ladder.	40
Figura 29 – Algoritmo discreto do parâmetro de velocidade.	42
Figura 30 – Algoritmo discreto de controle da velocidade.	42
Figura 31 – Parâmetros do motor e do driver.	44
Figura 32 – Softwares utilizados, RSLogix 5000 (a) e Elipse E3 (b).	45
Figura 33 – Gráfico do sistema antigo dosando.	46
Figura 34 – Gráfico do sistema novo dosando com valor de parâmetro fixado em 50%.	47
Figura 35 – Gráfico do sistema novo dosando com valor de parâmetro fixado em 30%.	48
Figura 36 – Gráfico do sistema dosando com valor de parâmetro calculado.	49
Figura 37 – Conformidade do Sistema Antigo.	50
Figura 38 – Conformidade do Sistema Desenvolvido.	51

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 – Resposta animal a um nutriente	6
Gráfico 2 – Curva de dosagem do software existente.	32
Gráfico 3 – Curva de dosagem do software novo.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de ingredientes	8
Tabela 2 – Principais nutrientes.	8

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Ração Animal	4
2.1.2 Órgãos Regulamentadores.....	6
2.1.3 Principais matérias primas.....	7
2.2 Fabricação de Ração Animal.....	9
2.2.1 Silos de Dosagem	10
2.2.2 Sistemas de Dosagem de Ração Animal	10
2.2.2.1 Rosca Dosadora	11
2.2.2.2 Registro Gaveta (Guilhotina).....	12
2.2.2.3 Grade Hidráulica.....	13
2.2.3 Balanças para Ração Animal.....	14
2.3 Sistemas de Controle Automatizados	16
2.3.1 Sensores.....	16
2.3.1.1 Sensores capacitivos.....	17
2.3.1.2 Sensor indutivo	19
2.3.1.3 Sensor de Posição	21
2.3.2 Atuadores.....	22
2.3.2.1 Inversor de Frequência	22
2.3.2.2 Válvulas Eletropneumáticas	23
2.3.3 Controladores Lógico Programáveis	24
2.3.3.1 Linguagens de Programação.....	26
2.3.4 Sistema Supervisório (SCADA).....	27

3. PROPOSTA.....	29
3.1 Sistema Atual.....	29
3.2 Sistema Proposto	32
4. DESENVOLVIMENTO.....	36
4.1 Calibração do Sistema	37
4.2 Bloco de Escalonamento	39
4.3 Controle de Desaceleração da Rosca Dosadora	41
5. RESULTADOS	44
5.1 Configuração do Sistema.....	44
5.2 Testes com Parâmetros Manuais	45
5.3 Testes com Parâmetros Calculados	48
5.4 Comparativo de Conformidade de Dosagem	50
6. CONCLUSÃO.....	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, a demanda por alimentos cresce em passo acelerado, trazendo para o mercado uma busca frenética de produção cada vez mais rápida. A carne, um dos principais alimentos, com produção extensiva e necessidade de áreas geográficas maiores, demanda constante adequação ao mercado.

Antigamente, os produtores criavam os animais - como aves, bovinos e suínos - livres no pasto ou mesmo habitat natural, alimentando-se dos recursos presentes em seu meio. Atualmente, os criadouros possuem sistemas intensivos como o confinamento, objetivando concentrar um grande número de animais em pequenas áreas, alimentando-os com dietas nutricionais que os façam exprimir todas suas características genéticas, principalmente um maior ganho de peso (INFOESCOLA , texto digital, 2015).

Para atender tal demanda, foram desenvolvidas as rações animais, contemplando todos os requisitos necessários para animais de diferentes espécies e idades. As rações fornecem energia, proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais e compostos bioativos, objetivando suprir as quantidades corretas de nutrientes para uma alimentação que visa o crescimento do animal, de forma saudável (PORTAL EDUCAÇÃO, texto digital, 2008).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é responsável pela gestão das políticas públicas de estímulo à agropecuária, pelo fomento do agronegócio e pela regulação e normatização de serviços vinculados ao setor (BRASIL, texto digital, 2016a). O mesmo fiscaliza as empresas, verificando as dependências, a higiene, o processo, os medicamentos utilizados na produção da ração, controlando para que não sejam utilizados produtos não autorizados.

As fábricas de rações de aves, suínos e bovinos para abatedouro seguem tais preceitos, elaborando receitas de ração que supram as necessidades de cada animal em diferentes etapas de vida. Estas receitas precisam ser extremamente balanceadas e, por isso, são elaboradas por profissionais especializados em nutrição animal, para que o animal cresça e ganhe peso em um menor espaço de tempo possível.

Com isso, deve-se atentar com a dosagem das matérias primas para a fabricação da ração, pois qualquer alteração na sua composição pode acarretar em problemas aos animais, tais como: enfraquecimento dos ossos com a falta de fosfato, fraqueza por falta de vitaminas, entre outros. Para que não ocorram estes problemas na fabricação, as empresas trabalham com um percentual de limites de conformidade, ou seja, valores aceitáveis de erro na dosagem dos ingredientes que compõem cada ração produzida, COSUEL (2016) e BRF (2016).

Os sistemas fabris de dosagem de matéria prima para fábricas de rações dispõem de diversos tipos de dosadores para macro e micro dosagem, como por exemplo: sistemas hidráulicos com atuadores elétricos, roscas com duas velocidades, roscas com inversor de frequência, válvulas pneumáticas, entre outros. Estes dispõem de uma lógica de programação diferenciada por cada empresa integradora, conforme as nuances do processo fabril.

Nas rações, as micro dosagens são muito influenciadas pelos erros, pois o peso a ser dosado é de no máximo 50 kg e, com isso, um erro de 1% (500 g) pode ocorrer frequentemente, caso o sistema de controle não seja elaborado corretamente. Se este erro persistir, a ração ficará desbalanceada, gerando problemas no campo de conversão (ração consumida / peso adquirido por um período de tempo) e de saúde do animal, conforme já citado.

Quando identificado um problema no campo com a ração fornecida, a empresa envia um técnico nutricional para que colete amostras do material e, a partir de uma análise, definam se a ração pode ou não continuar a ser consumida. Com isso, o prejuízo para as empresas é enorme, pois geralmente é descartada uma grande quantidade (toneladas) de produto, além dos problemas que o animal poderá ter, decorrentes do consumo indevido deste produto. Tal situação pode inclusive causar o óbito do animal antes do abate, como alerta Cosuel (2016).

Outro problema, segundo BRF (2016), é o controle de estoque. Tendo em vista que boa parte das matérias primas possuem alto valor agregado, erros no processo de fabricação acarretam em aumento de custo de produção em virtude de desperdício e retrabalho. Tal fator corrobora para a importância do controle nas dosagens, visando reduzir os erros, para que o produto enquadre-se nos padrões de conformidade estipulados pela fábrica.

As empresas vêm investindo pesado em sistemas de rastreabilidade para poder identificar problemas nas dosagens. Com tais sistemas, pode-se verificar se estes erros são decorrentes de problemas mecânicos, da automação ou da própria balança que não suporta este tipo de dosagem. Considerando o lado da automação, constata-se que os problemas na dosagem com roscas dosadoras acionadas por inversor de frequência, geralmente acontecem nas trocas de velocidade.

Este fenômeno ocorre, pois os parâmetros de velocidade das roscas dosadoras são configurados pelos operadores do sistema, sendo que em determinados casos, os parâmetros são definidos a partir de experiências anteriores (tentativa e erro). Analisando este problema, o presente trabalho propõe a elaboração de um sistema de micro dosagem automatizado, que permita reduzir os índices de erros de dosagem, sem acarretar na eficiência e na segurança do processo fabril.

A partir da implantação do sistema proposto, retira-se do operador da fábrica a responsabilidade de inserir estes parâmetros, tendo em vista que o sistema realizará automaticamente todos os cálculos necessários para tal. Este trabalho foi aplicado em uma fábrica de ração instalada na região do Vale do Taquari, para fins de validação da proposta.

O presente trabalho está organizado em capítulos e subseções. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico, abordando os assuntos inerentes ao pleno entendimento da solução proposta. O terceiro capítulo apresenta a solução proposta, o cenário atual da planta objeto deste estudo, bem como os resultados obtidos na etapa inicial, visando validar a proposta. O quarto capítulo apresenta o desenvolvimento do sistema implantado. O quinto capítulo apresenta os resultados provenientes da implantação do sistema devidamente concluído. Por fim, o sexto capítulo apresenta a conclusão e as considerações finais acerca deste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Estima-se que até o ano de 2050, a população mundial ultrapassará os 9,2 bilhões de habitantes. Produzir alimentos nutritivos, seguros e em volume suficiente para suprir a demanda da crescente população é um dos desafios da atualidade. Neste cenário, o setor latino-americano de produção animal aumenta, dia-a-dia, os seus números, reforçando a importância da adoção de estratégias e práticas na produção de alimentos para animais que venham a produzir uma proteína animal que, além de econômica e saudável, também seja segura e sustentável (CAPUTI, B. ET AL. 2011).

Em virtude dos fatos mencionados e, visando elucidar os conceitos inerentes ao proposto neste trabalho, são apresentadas as seções a seguir. Primeiramente, serão abordados conceitos de ração animal, bem como os processos de fabricação, legislação e demais temas pertinentes.

2.1 Ração Animal

Ração Animal é a quantidade total de alimento que um animal recebe em um período de 24 horas (EMBRAPA, 2011). Nas últimas décadas, a melhoria dos índices zootécnicos e econômicos tem sido o objetivo tanto da avicultura como da suinocultura mundiais. Para isso, nutricionistas da área animal buscam aumentar o potencial de retenção dos nutrientes ingeridos pelos animais, direcionando-os principalmente para o crescimento do tecido muscular (CAPUTI, B. ET AL. 2011).

A minimização do impacto ambiental da produção animal está intrinsecamente relacionada ao máximo aproveitamento do potencial nutritivo dos alimentos fornecidos aos animais. Para tanto, deve-se considerar os conhecimentos da composição e da digestibilidade dos nutrientes dos diferentes ingredientes das rações, as exigências nutricionais dos animais e o uso de aditivos nutricionais para o melhor balanceamento nutricional das rações que alimentarão os plantéis de produção (CAPUTI, B. ET AL. 2011).

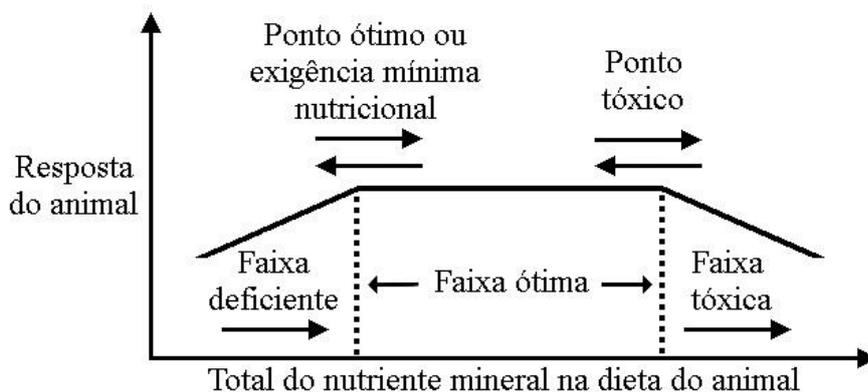
Para tanto, deve-se esclarecer os conceitos de ingrediente e nutriente, pois são importantes e necessitam estar bem claros para a formulação de uma ração. Os ingredientes são matérias-primas que fornecem vários nutrientes aos animais. Já os nutrientes são componentes ativos dos ingredientes e participam do processo bioquímico de formação dos tecidos animais (PORTAL EDUCAÇÃO, texto digital, 2008).

Ingredientes como soja, milho e sorgo fornecem todos os nutrientes ao animal. Na soja, por exemplo, encontra-se proteína, energia, minerais, aminoácidos e vitaminas aproveitados pelo animal. Entretanto, a nutrição adequada do animal não pode ser alcançada apenas com uma dieta baseada em apenas um ingrediente (PORTAL EDUCAÇÃO, texto digital, 2008).

Desta forma, o que determina a nutrição adequada para o correto desenvolvimento do animal consiste na relação dos nutrientes entre si, ou seja, é necessária uma combinação de alimentos a fim de obter-se um composto nutricional balanceado (PORTAL EDUCAÇÃO, texto digital, 2008).

A dieta balanceada deve estar de acordo com a espécie animal e raça, a idade, a taxa de produção, entre outros, para que se apresentem níveis nutricionais na faixa ótima. Ao estar inadequada com a exigência mínima dos níveis de nutrientes, a dieta alterará a resposta do animal em seu desenvolvimento, na qual pode apresentar-se no nível deficiente ou tóxico (EMBRAPA, texto digital, 1987), conforme gráfico 1.

Gráfico 1 – Resposta animal a um nutriente



Adaptado em 28/05/2016 de EMBRAPA, 1987.

Sendo assim, faz-se necessária uma fiscalização rigorosa no âmbito da produção de ração animal, visando a adequação dos ingredientes e nutrientes para uma dieta balanceada dos animais (EMBRAPA, texto digital, 1987).

2.1.2 Órgãos Regulamentadores

O órgão que regulamenta e fiscaliza o setor de produtos peculiares à alimentação animal é o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Assim, todo estabelecimento que vem a fabricar, fracionar, exportar, importar e comercializar rações, suplementos, alimentos para animais, ingredientes e aditivos que são destinados à alimentação animal tem o dever de estar registrado neste órgão (BRASIL, texto digital, 2016a).

Salienta-se que há um crescimento anual do Brasil no comércio internacional, destacando-se para a produção de carnes de frango, bovina e suína. A perspectiva de produção nacional de carne suprirá 44,5% do mercado mundial até 2020, sendo 48,1% das exportações mundiais de carne de frango e 14,2% de carne suína. Estes índices indicam que o Brasil manterá a primeira posição de exportador mundial de carnes bovina e de frango (BRASIL, texto digital, 2016b). Diante, disso:

[...] Cabe ao Ministério da Agricultura, por intermédio da Secretaria de Defesa Agropecuária, regulamentar e controlar mercadorias de origem animal a serem exportadas, atestando sua qualidade e segurança. Além disso, o ministério, com as secretarias de agricultura Estaduais, promove ampla fiscalização, visando à conformidade entre a legislação de inspeção industrial e sanitária brasileira e as

normas de sanidade exigidas pelo país importador [...] (BRASIL, texto digital, 2016b).

Como principal objetivo dessa regulamentação está a higienização sanitária adequada nos processos de fabricação e, conseqüentemente, a qualidade que dispõem os produtos no mercado. Além disso, atenta-se também à segurança e rastreabilidade desses produtos tanto importados como exportados (BRASIL, texto digital, 2016a).

A Coordenação de Produtos de Alimentação Animal (CPAA), do Departamento de Fiscalização de Insumos Pecuários, da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) é quem define os regulamentos de fabricação e comercialização bem como o registro e fiscalização desses produtos. As Boas Práticas de Fabricação (BPF), assim como as condições higiênico-sanitárias das fábricas estão descritas na Instrução Normativa nº 04/2007, ficando a cargo dos Fiscais Federais Agropecuários as fiscalizações, vistorias e auditorias na averiguação do cumprimento da legislação (BRASIL, texto digital, 2016a).

2.1.3 Principais matérias primas

Para realizar uma composição balanceada de ração animal, precisa-se de uma proporção e disponibilidade adequada de ingredientes. Com isso, para que possam-se determinar quais tipos de nutrientes utilizar em cada fase de vida do animal, estes ingredientes foram classificados pelo teor de energia, proteínas, fibra ou minerais presentes, conforme Tabelas 1 e 2 (PORTAL EDUCAÇÃO, texto digital, 2008).

Tabela 1 – Exemplos de ingredientes

PROTÊICOS	ENERGÉTICOS	FIBROSOS
Farelo de soja	Milho	Pasto
Farelo de algodão	Sorgo	Fenos
Farelo de girassol	Trigo	Silagens
Soja extrusada	Triticale	Farelo de trigo
Farinha de carne	Cevada	Casca de soja
Farinha de pena	Centeio	Casca de arroz
Farinha de peixe	Arroz	Polpa de citrus
Aminoácidos sintéticos	Gordura animal	
Sucedâneos do leite	Óleo vegetal	
Sucedâneos sanguíneos		

Adaptado em 28/05/2016 de Portal da Educação, 2008.

Tabela 2 – Principais nutrientes.

MACRONUTRIENTES	AMINOÁCIDOS	VITAMINAS	MINERAIS
Proteína bruta	Alanina	A	Cálcio
Extrato etéreo	Arginina	D	Fósforo
Carboidratos	Asparagina	E	Potássio
Água	Acido aspártico	K	Cloro
	Cistina	Tiamina B1	Magnésio
	Glutamina	Riboflavina B2	Ferro
	Acido glutâmico	Piridoxina B6	Cobre
	Glicina	Cianocobalamina B12	Zinco
	Histidina	Ac Nicotínico	Manganês
	Isoleucina	Ac Pantotênico	Cobalto
	Leucina	Ac fólico	Iodo
	Lisina	Ac lipóico	Selênio
	Metionina	Ac Ascórbico C	Fluor
	Fenilalanina	Biotina	Molibdênio
	Prolina	Mioinositol	Cromo
	Serina	Colina	
	Treonina		
	Triptofano		
	Tirosina		
	Valina		

Fonte: Adaptado em 28/05/2016 de Portal da Educação, 2008.

Para a fabricação de ração animal, segundo EMBRAPA (Texto digital, 2003), alguns passos devem ser seguidos, como:

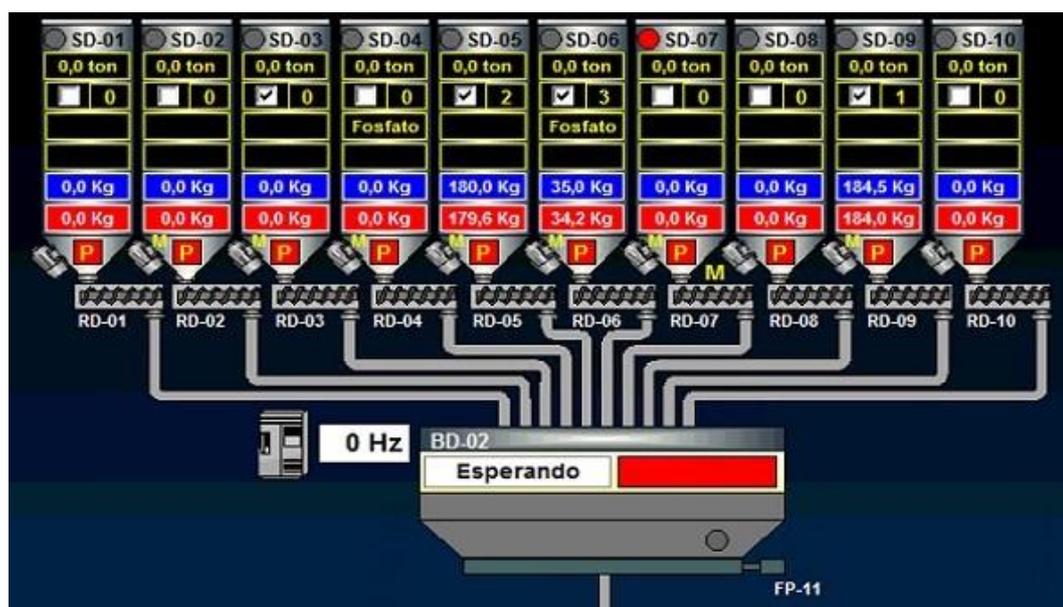
- Avaliação de cada matéria prima, para que se tenha os seus valores nutricionais, pois as mesmas variam de um solo para o outro e pelo seu processamento;
- A formulação da receita deve ser elaborada por técnicos especializados, levando-se em conta cada fase de criação do animal;
- Na fabricação da ração, todos os ingredientes devem ser pesados individualmente;
- Para a mistura ficar homogênea, deve-se respeitar um tempo mínimo de mistura, informado pelo fabricante do equipamento envolvido;

Com base nessas informações, a seção a seguir apresenta uma das principais etapas do processo de fabricação de ração animal, a dosagem de produtos.

2.2 Fabricação de Ração Animal

As seções a seguir elucidarão os principais componentes do processo de dosagem na fabricação de ração animal, tendo em vista o objetivo deste trabalho. De uma forma geral, o processo de dosagem de matérias primas pode ser ilustrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Imagem de um supervisor de Fábrica.



Adaptado 15/10/2016 de STW.

Conforme ilustrado na Figura 1, um exemplo de sistema de dosagem conta com Silos de Armazenamento (identificados como SD-01 a SD-10), Roscas Dosadoras (identificadas como RD-01 a RD-10) e uma Balança (identificada como BD-02).

2.2.1 Silos de Dosagem

Os silos de armazenagem de matéria prima são construídos de alvenaria, concreto ou em estrutura metálica. Em empresas com estruturas mais antigas, encontra-se mais silos de concreto e alvenaria para o recebimento de matéria prima, já para os silos intermediários geralmente são todos de metal. Os silos intermediários são aqueles que ficam após o recebimento, armazenando para a dosagem o produto que passou por algum processo de moagem ou seleção prévia (conforme ilustração na Figura 1), ou são silos pulmão onde ficam retidos os produtos dosados que estão aguardando a sequência do processo de fabricação da ração.

Conforme Klein (1999), os silos de dosagem devem ser tratados com atenção. O tamanho e formato do silo também devem ser levados em consideração, uma vez que isto depende do produto que ele armazenará e da quantidade dosada, devendo armazenar produtos suficientes para não parar a produção e ter um bom escoamento de produtos.

Para transportar a matéria prima dos silos para a balança, são utilizados sistemas de dosagem com diferentes tipos de transporte, os quais são abordados na seção a seguir.

2.2.2 Sistemas de Dosagem de Ração Animal

Existem diversas formas de dosagem de matérias primas em um processo de fabricação de ração animal, tais como: rosca, registro gaveta (guilhotina) e grade hidráulica. Dependendo da matéria prima e/ou a quantidade a ser dosada, pode-se dividir as formas de dosagem, pois diferentes ingredientes possuem propriedades de escoamento variadas.

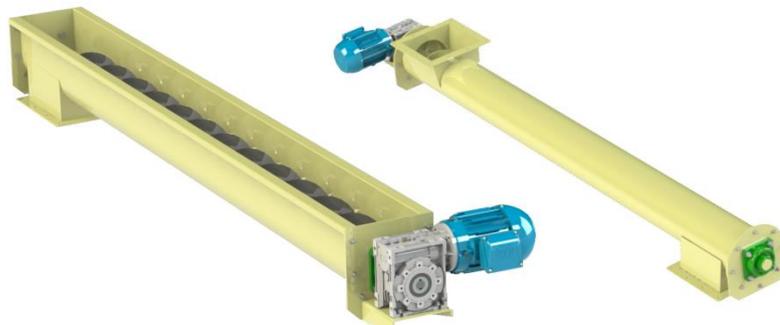
Além disso, cita (KLEIN, 1999), que devem ser observados os elementos de dosagens, que ficam sob os silos, podendo ser helicoides, gavetas, dentre outros. Estes

equipamentos também devem ser bem dimensionados, analisando a frequência de dosagem, passo da rosca ou abertura de gaveta, uma vez que helicoides muito grandes tendem a possuir baixa precisão e muito pequenas atrasam o processo de dosagem.

2.2.2.1 Rosca Dosadora

As roscas dosadoras, objeto estudo deste trabalho, são equipamentos feitos de material metálico (ferro, aço, aço inoxidável), em formatos tubulares ou em U, conforme consta na Figura 2. As Roscas em formato em U são equipamentos para grandes quantidades de matéria prima, já as tubulares são utilizadas geralmente para pequenas quantidades (VIBRAMAX, texto digital, 2016).

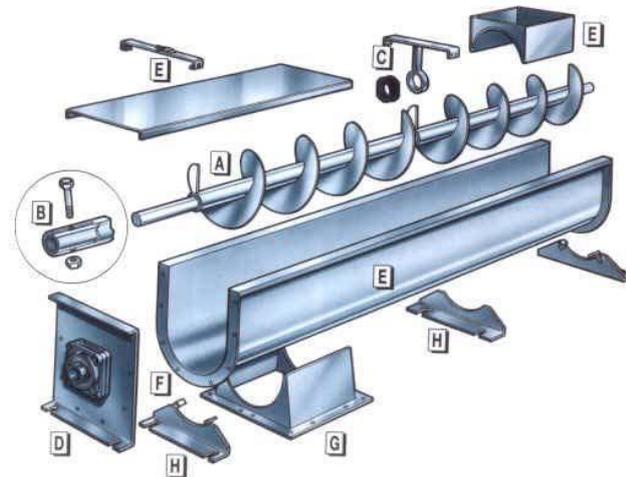
Figura 2 – Transportadora em U (Esquerda) e Transportadora Tubular (Direita).



Adaptado 15/10/2016 de Vibramax.

Internamente, as roscas transportadoras são iguais. Possuem uma helicoides fixada por rolamentos nas extremidades. As dimensões da helicoides influenciarão na capacidade máxima de dosagem da rosca. A figura 3, mostra uma vista explodida (VIBRAMAX, texto digital, 2016).

Figura 3 – Transportadora em U em partes.



Adaptado 15/10/2016 de Vibramax.

O sistema de dosagem com rosca dosadora consiste em um equipamento tubular ou em formato U, acoplado a uma redução e um motor elétrico, permitindo ajustar a velocidade da dosagem através de uma partida com inversor de frequência, método que será abordado nas seções posteriores.

Geralmente, as dosagens iniciam em velocidade alta e, conforme a dosagem aproxima-se do valor desejado, diminui-se a velocidade do motor para que se tenha um ajuste fino de dosagem. Quanto melhor o controle da velocidade, mais exata será a dosagem, pois consegue-se um escoamento do produto gradual, reduzindo o erro da dosagem e, com isso, atingindo os padrões de conformidade do produto.

Além disso, deve-se levar em consideração o vôo do produto, que é a quantidade de matéria prima suspensa entre o meio de transporte e a balança após o comando de desligamento. Dependendo do valor a ser dosado, tal quantitativo pode ser de veras representativo para o cálculo do erro de dosagem.

2.2.2.2 Registro Gaveta (Guilhotina)

O registro gaveta ou guilhotina é um equipamento pneumático com um desenho semelhante a uma gaveta. Possui uma estrutura metálica com um cilindro pneumático

acoplado para realizar o movimento de uma chapa de metal sobre um conjunto de rolamentos, visando controlar a passagem do produto, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Gaveta fechada (esquerda) e gaveta aberta (direita).



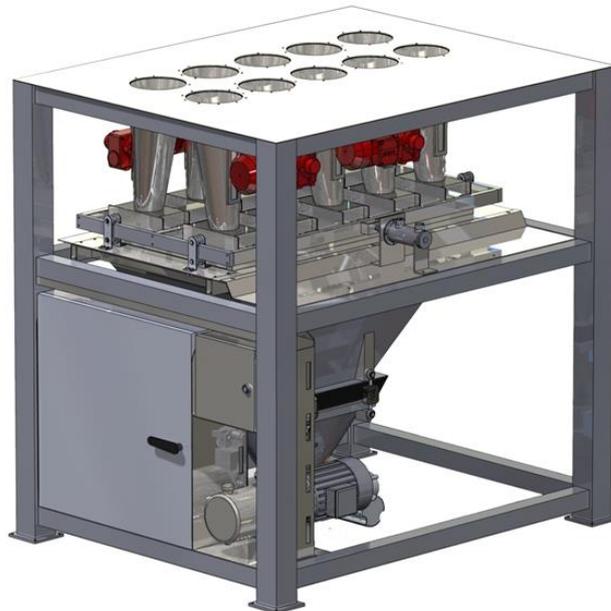
Adaptado 16/10/2016 de Vibramax e Artabas.

Geralmente, os sistemas de dosagem com registros gaveta possuem uma montagem de duas gavetas (superior e inferior). Estas possuem diferentes tamanhos de aberturas, ou seja, a dosagem inicia com ambas abertas e, a medida que a dosagem aproxima-se do valor desejado, é possível fechar parcialmente a gaveta superior e, por fim, fechar a gaveta inferior.

2.2.2.3 Grade Hidráulica

O sistema consiste em um quadro de perfis acoplado em um único cilindro hidráulico. O cilindro realiza o movimento do quadro sobre um eixo. Os silos possuem um selecionador pneumático individual, o qual encaixa-se ao quadro de perfis, conforme o mesmo posiciona-se. A figura 5, mostra o um exemplo de estrutura (AKOS, Texto digital, 2016).

Figura 5 – Sistema Akos de Microdosagem de Premix com Grade Hidráulica – MIX10.



Akos Indústria de Tecnologia em Mecânica Ltda..

Estes silos possuem sensores que indicam se o silo está fechado, para garantir a abertura de um único silo a cada dosagem de matéria prima (AKOS, Texto digital, 2016).

Explanados os métodos de armazenamento e transporte de matéria prima, será abordada na seção a seguir o último elemento do sistema de dosagem, a balança de pesagem.

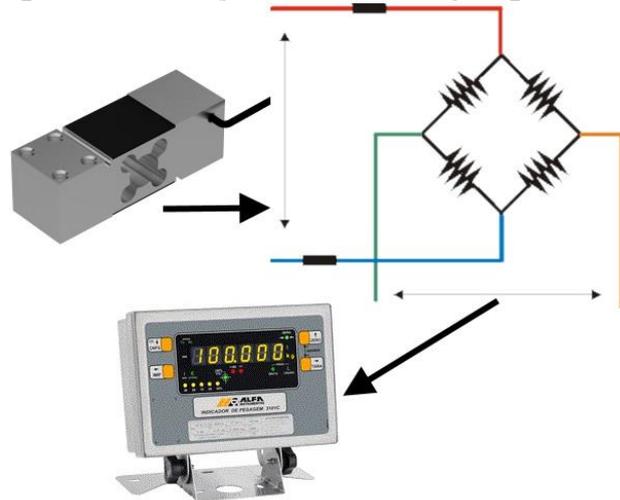
2.2.3 Balanças para Ração Animal

Conforme (ALFA, Texto digital 2016) e (PORTAL CÉLULA DE CARGA, Texto digital, 2016), as balanças são equipamentos que utilizam células de carga para transformar uma grandeza física (força) em um sinal elétrico. As células de carga têm o funcionamento baseado em variação de uma resistência ôhmica de um sensor chamado extensômetro (*strain*

gauge). As células possuem quatro sensores ligados entre si conforme a ponte de Wheatstone¹.

Em virtude da força peso, há um desbalanceamento na ponte de Wheatstone, alterando as resistências dos extensômetros, sendo essa proporcional a força aplicada. As tensões são lidas por um indicador e convertidas para a visualização em quilogramas, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Ilustração do sistema de pesagem.



Fonte Autor.

Para o processo de fabricação de ração animal, as fábricas podem dispor de várias balanças, de diferentes capacidades e tipos, como de acréscimo e de decréscimo. As balanças de sólidos são divididas em micro e macro dosagens e as de líquidos em acréscimo e decréscimo.

As balanças de acréscimo são aquelas que no momento da dosagem estão vazias e, no decorrer do processo, vai-se acrescentando o produto dentro dela, ou seja, acréscimo de matéria prima. Já as balanças de decréscimo iniciam com uma massa de valor maior ao valor a ser dosado e, no decorrer da dosagem, decrementa-se o produto da balança até atingir o setpoint desejado.

¹ Sir Charles Wheatstone, físico inglês que inventou em 1843 o circuito de ponte que pode medir resistências elétricas, ideal para medição de extensômetros.

Conforme Klein (1999), a balança é um ponto crítico no processo de dosagem e deve ser projetada com cautela. O número de balanças dependerá diretamente da velocidade com que se deseja dosar os ingredientes e do número de ingredientes a ser dosado. Balanças de grandes capacidades tendem a possuir precisão menor que balanças de baixa capacidade.

Tendo em vista que o enfoque deste trabalho é a aplicação de um sistema automatizado para controle do sistema de dosagem de matéria prima em uma fábrica de ração animal, as demais etapas do processo de fabricação de ração não serão abordadas no Referencial Teórico. Para tanto, a seção a seguir apresenta os conceitos inerentes a automação de processos, visando elucidar os assuntos pertinentes a esta aplicação.

2.3 Sistemas de Controle Automatizados

As seções a seguir elucidam os principais conceitos dos componentes utilizados na automação do processo de dosagem de ração animal, iniciando pelo elemento sensor.

2.3.1 Sensores

Segundo Fraden (2004), Thomazini e Albuquerque (2007), Pires (2007) e Lamb (2015), um sensor é um dispositivo que recebe um sinal ou estímulo e o converte em um sinal elétrico que seja compatível com circuitos eletrônicos. O sinal de entrada pode ser uma quantidade, uma propriedade ou um estado, o qual o sensor converte em tensão ou corrente, podendo ser amplificada e modificada por circuitos eletrônicos de aquisição.

Salientam os autores que os sensores são indispensáveis em qualquer instalação automática, pois são eles que permitem obter informação sobre o funcionamento dos vários sistemas e da evolução do processo a ser controlado. O processo de medição utiliza sensores acoplados a sistemas de aquisição que convertem o sinal do sensor em um formato tratável por um sistema computacional, o qual por sua vez pode gerar um sinal para os atuadores, visando corrigir o erro do processo.

Os sensores discretos são aqueles que fornecem um sinal digital (1 ou 0), ou seja, ligado ou desligado. Estes são muito utilizados na indústria para a detecção de objetos e posicionamento de partes móveis de equipamentos. Como exemplos, pode-se citar: sensores de proximidade, chave fim de curso, nível, dentre outros.

Já os sensores analógicos possuem um transdutor acoplado que fornece, em sua saída, um sinal proporcional a grandeza medida. Exemplos de sensores analógicos: sensor de nível, pressão, régua potenciométrica, entre outros.

Transdutor é todo o dispositivo que recebe uma resposta de saída, da mesma espécie ou diferente, que reproduz certas características do sinal de entrada, a partir de uma relação definida. (Rosário, pág. 58, 2005)

Os sensores com transdutores industriais possuem uma saída de tensão ou corrente que variam de ± 10 V, 0 a 10 V, 0 a 5 V, 1 a 5 V, 0 a 20 mA e de 4 a 20 mA, os quais são padrões de entradas ou saídas analógicas das maiorias das marcas de CLP (Controlador Lógico Programável), conforme Costa (2011).

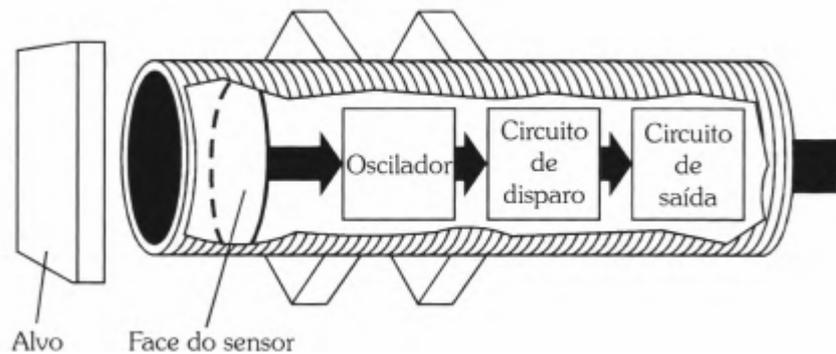
Existem outros sensores específicos que fornecem saídas de resistência e termômetro de resistência e termopares (SIEMENS, 2016).

2.3.1.1 Sensores capacitivos

Os sensores capacitivos são sensores de proximidade que utilizam o mesmo princípio de operação de um capacitor² (ROSÁRIO, 2005). Os mesmos não precisam ter contato com o material a ser detectado e podem ser utilizados para líquidos e materiais sólidos (LAMB, 2015). A Figura 7 apresenta um diagrama exemplificando um Sensor Capacitivo.

² Capacitor – “é um componente eletrônico capaz de armazenar cargas elétricas.” (ROSÁRIO, pag. 72, 2005).

Figura 7 – Corte do sensor capacitivo de proximidade.

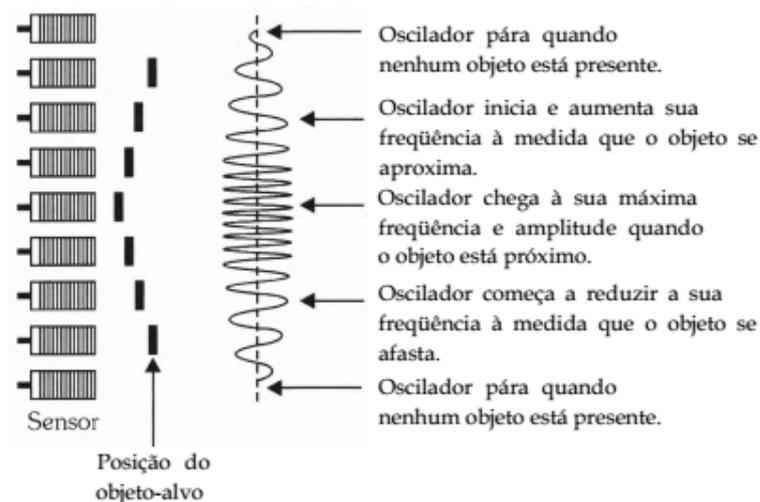


Adaptado 30/10/2016 de Franchi, 2005

O sensor possui em sua face um capacitor que está ligado a um oscilador. Com a aproximação do alvo, a capacitância deste varia, fazendo com que o oscilador eleve sua amplitude de saída e, com isso, acionando o circuito de disparo. A partir do disparo, o sensor envia um sinal digital (1) na sua saída (FRANCHI, 2005).

A figura 8 descreve o comportamento do oscilador, conforme a aproximação do alvo.

Figura 8 – Comportamento do oscilador em um sensor capacitivo.

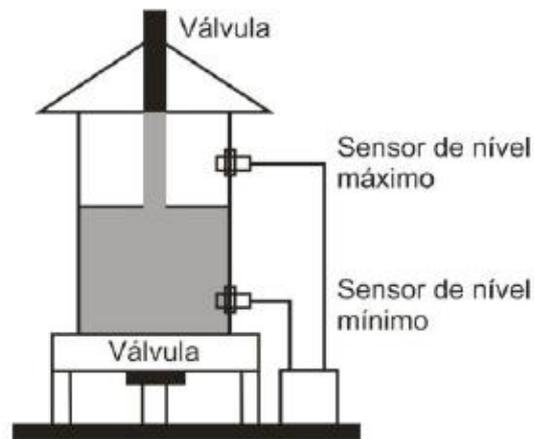


Fonte Franchi (2005).

Uma aplicação possível para os sensores capacitivos é a identificação de diferentes níveis de produto em um silo de armazenagem. A Figura 9 apresenta um exemplo de silo

contendo dois sensores capacitivos, os quais indicam nível mínimo e nível máximo de produto armazenado.

Figura 9 – Exemplo de aplicação do sensor de nível capacitivo.

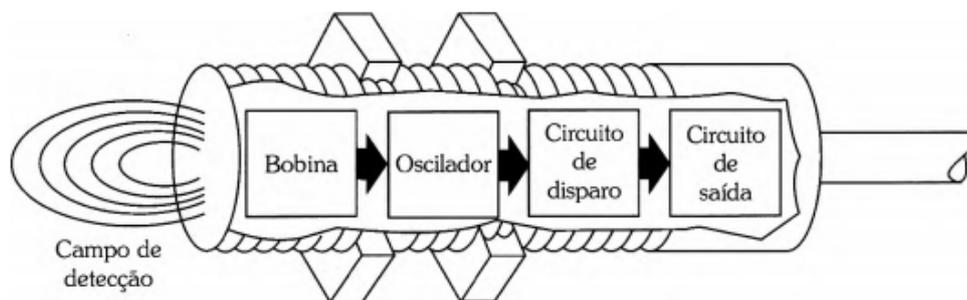


Fonte Sensor Bras (2016).

2.3.1.2 Sensor indutivo

Os sensores indutivos são sensores de proximidade. Estes possuem uma bobina na sua face, interligada com um oscilador, como mostra a figura 10. O oscilador energiza a bobina para gerar um campo magnético. Com a aproximação do alvo (material metálico ou condutor), o campo magnético gerado pela bobina induz correntes parasitas no alvo, gerando perdas na energia do oscilador (FRANCHI ,2005).

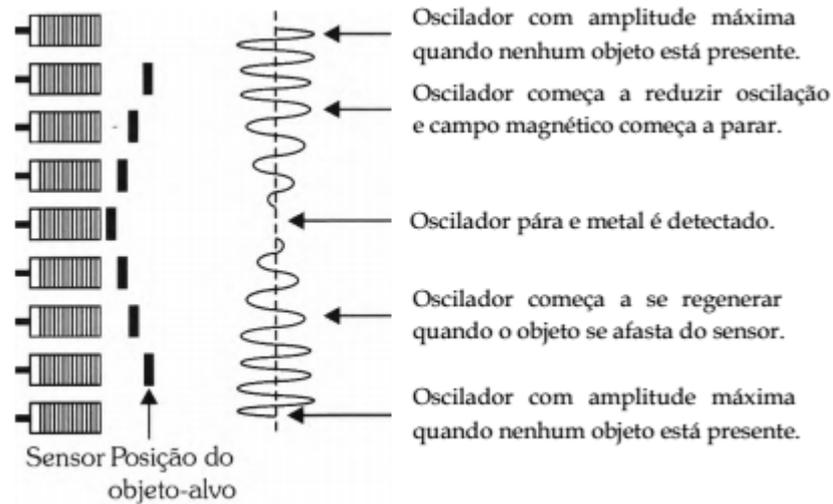
Figura 10 – Estrutura de um sensor indutivo.



Fonte Franchi (2005)

Conforme o objeto se aproxima do sensor, o oscilador reduz sua frequência e, com isso, o sistema de disparo é acionado e o mesmo muda o estado da saída de 0 para 1, conforme figura 11 (FRANCHI, 2005).

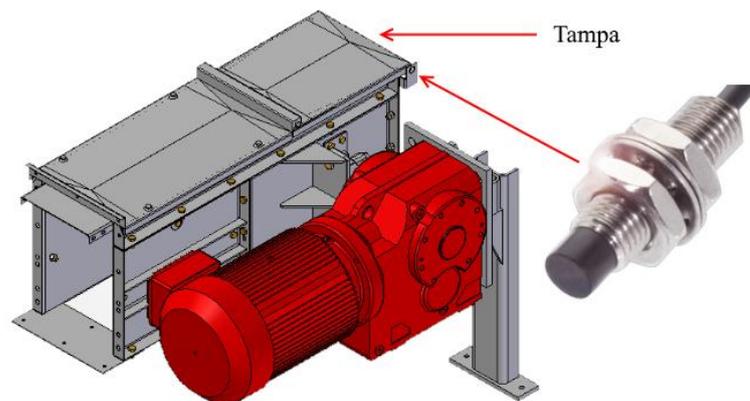
Figura 11 – Comportamento do oscilador em um sensor indutivo.



Fonte Franchi (2005).

Os sensores indutivos podem ser aplicados nos mais diversos processos fabris, sendo que nas fábricas de ração animal, uma aplicação seria como sensor de portas instaladas na estrutura das roscas dosadoras, conforme figura 12. Caso uma rosca dosadora esteja trabalhando com excesso de matéria prima por alguma razão, tal excesso movimentaria esta porta verticalmente e a informação é repassada através do sensor indutivo.

Figura 12 – Cabeça de um transportador redler e instalação do sensor de embuchamento.

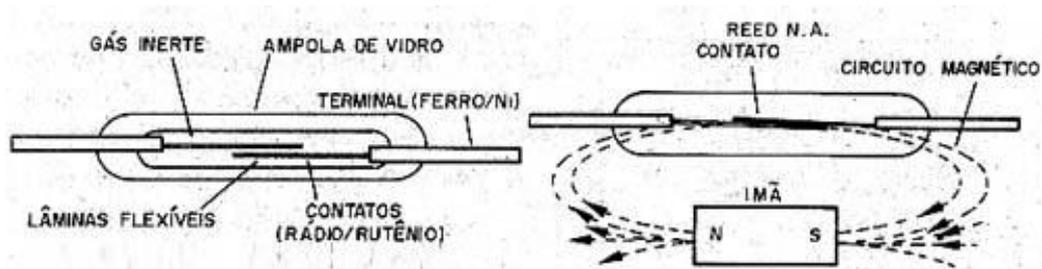


Fonte adaptado do Borchert (pag. 28, 2013).

2.3.1.3 Sensor de Posição

Os sensores magnéticos também conhecidos por reed switch (chave de palheta) são chaves liga/desliga que comutam com a presença de um ímã permanente ou campo magnético, conforme WEG (Texto digital, 2016a). O funcionamento é mostrado na figura 13.

Figura 13 – Estrutura de um sensor magnético a esquerda e o funcionamento a direita.



Fonte adaptado em 31/10/2016 de Instituto Newton C. Braga (2016)

Estes sensores possuem uma instalação bem simples em cilindros pneumáticos, conforme mostrado na figura 14. Estes cilindros pneumáticos possuem um ímã permanente instalado internamente no seu embolo (existem modelos sem o ímã) e, quando o embolo se movimenta e atinge o campo do sensor, o mesmo muda de estado de aberto para fechado (FESTO, 2016).

Figura 14 – Sensor de proximidade para ranhura em T (Festo), 1 – Ranhura, 2 – Carcaça do cilindro pneumático e 3 – Sensor do tipo T.



Fonte adaptado 05/11/2016 de FESTO.

2.3.2 Atuadores

Ao contrário dos sensores, os atuadores são dispositivos que convertem uma grandeza elétrica controlada, em uma quantidade física. Pode-se encontrar os atuadores na forma de motores, válvulas solenoides para acionamentos de cilindros pneumáticos ou hidráulicos (ROSÁRIO, 2005).

Os atuadores presentes no sistema de dosagem estudado (motores e cilindros pneumáticos) serão controlados por um CLP, utilizando os sinais dos sensores para a indicação de estados do processo.

2.3.2.1 Inversor de Frequência

O inversor de frequência é um dispositivo capaz de controlar a velocidade de giro e torque de um motor de indução. Através de um circuito interno, o inversor de frequência manipula a tensão de alimentação, visando alterar a frequência de giro do eixo do motor (INST. NEWTON C. BRAGA, Texto digital, 2016a) e (WEG, 2016b). A figura 15 mostra um exemplo de inversor de frequência.

Figura 15 – Exemplo de inversor de frequência.



Fonte Allen Bradley.

Para fins de controle, os inversores de frequência podem receber sinais analógicos (0 a 10V / 4 a 20mA) em uma interface de bornes, ou receber comandos em barramento, utilizando os mais diversos protocolos industriais. Desta forma, é possível comunicar o Controlador Lógico Programável com os inversores, visando receber as informações do processo em tempo real e enviar novas instruções de comando de forma eficiente.

2.3.2.2 Válvulas Eletropneumáticas

São dispositivos que funcionam com fluxo de ar e são acionadas por um solenoide que atua eletricamente, movimentando uma bobina dentro da válvula e alterando o fluxo de ar internamente, realizando o movimento de um cilindro pneumático, por exemplo (LAMB, 2015)

A figura 16 mostra um exemplo de funcionamento de válvula pneumática.

Figura 16 – Funcionamento de uma válvula pneumática.



Fonte adaptado da Festo 05/11/2016.

As válvulas eletropneumáticas são utilizadas nos mais diversos processos industriais e, em fábricas de ração animal, as mesmas podem ser utilizadas para controlar silos ou balanças com gavetas, conforme mencionado anteriormente. A velocidade de acionamento do cilindro pode ser ajustada, adequando-se às necessidades de cada processo fabril.

Para fins de controle dos atuadores de forma automática, faz-se necessária a utilização de um Controlador Lógico Programável, conforme explanado na seção a seguir.

2.3.3 Controladores Lógico Programáveis

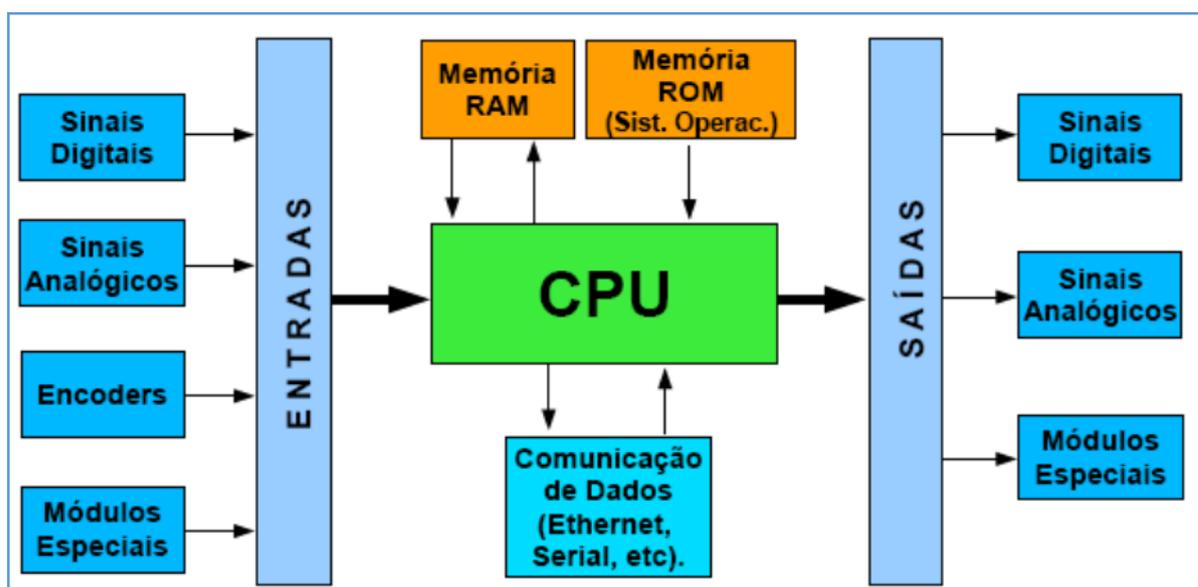
No campo industrial, é necessário controlar os processos de forma rápida, segura e precisa, o que muitas vezes é humanamente impossível. Nesse contexto, são de extraordinária importância os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), os quais tornaram a automação industrial propriamente dita, uma realidade onipresente.

Um CLP é um computador especial microprocessado que possui funções de controle dos mais variados tipos e níveis de complexidade. Seu propósito consiste em monitorar parâmetros inerentes ao processo e ajustar as operações de acordo com estas informações. O CLP pode ser programado e controlado, além de permitir sua operação por pessoas sem conhecimento de computação (WEBB e REIS, 2003)

Bolton (2007) e Bega e colaboradores (2006) caracterizam o CLP como um equipamento de controle industrial microprocessado, criado inicialmente para efetuar especificamente o controle lógico de variáveis discretas (sinais digitais), sendo atualmente aplicado em praticamente todos os tipos de controle.

A Figura 17 apresenta um diagrama com os principais componentes de um CLP típico, elaborada com base nas obras de WEBB e REIS (2003), BEGA et al. (2006), BOLTON (2007) e FRANCHI (2011).

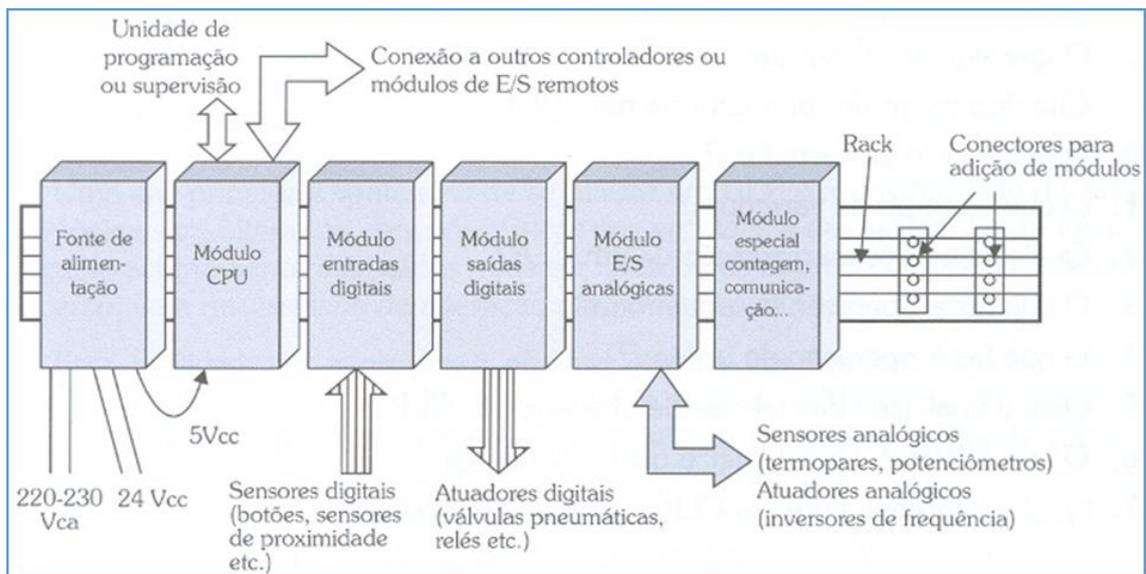
Figura 17 – Diagrama de componentes de um CLP



Fonte: Do autor.

Estruturalmente, os CLPs podem ser divididos em compactos e modulares. Os CLPs compactos possuem incorporados em uma única unidade a fonte de alimentação, a CPU (Central Processing Unit) e um determinado número de entradas e saídas digitais e analógicas. Já os CLPs modulares são compostos por uma estrutura em que cada módulo (cartão) executa uma determinada função, permitindo diferentes estruturas de montagem, conforme ilustra a Figura 18.

Figura 18 – Exemplo de estrutura de um CLP modular.



Fonte: Franchi (2009).

Salientam MORAES e CASTRUCCI (2001) que o CLP é um dispositivo digital que controla máquinas e processos. Utiliza uma memória programável para armazenar instruções e executar funções específicas como controle de energização/desenergização, temporização, contagem, sequenciamento, operações matemáticas e manipulação de dados.

Cita NATALE (2006) que as interfaces de comunicação são indispensáveis na automação, pois possibilitam ao CLP uma série de facilidades na troca de informações com sensores e atuadores. Além disso, através desta interface de comunicação, é possível trafegar os dados do processo, visando gerenciá-los em um sistema supervisorio computacional, tema este que é abordado na seção seguinte.

2.3.3.1 Linguagens de Programação

Conforme Franchi (2011), programar significa fornecer uma série de instruções a um sistema com capacidade computacional, de maneira que este seja capaz de comportar-se deterministicamente, executando de forma automática as decisões de controle em função do estado atual, das entradas e das saídas do sistema em um dado instante de tempo. Para tanto, a linguagem de programação compreende um conjunto padronizado de instruções que o sistema computacional é capaz de reconhecer.

Segundo John e Tiegelkamp (2001), para padronizar uma variedade de conceitos modernos e linguagens para beneficiar os programadores, a International Electrotechnical Commission (IEC) desenvolveu um padrão para uso em controladores industriais. Embasada na experiência com as linguagens de programação existentes, a IEC definiu 5 linguagens, juntamente com um conceito de dados utilizando modernos métodos de desenvolvimento de software.

Surge assim, no início da década de 1990, a norma IEC 1131, a qual seria revisada anos seguintes, recebendo a nomenclatura de IEC 61131. Citam os autores que o padrão IEC 61131 representa uma combinação e continuação de diferentes padronizações, incluindo regras sobre o código a ser empregado, a definição da nomenclatura a ser utilizada e a estrutura das representações gráficas. A norma IEC 61131 é dividida em 8 partes, sendo que a terceira parte (IEC 61131-3) aborda as cinco linguagens de programação definidas sintática e sistematicamente:

- Diagrama de Blocos de Funções (FBD – Function Block Diagram);
- Linguagem Ladder (LD – Ladder Diagram);
- Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC – Sequential Function Chart);
- Lista de Instruções (IL – Instruction List);
- Texto Estruturado (ST – Structured Text).

É importante salientar que a norma visa atender os mais diversos segmentos da indústria e uniformizar as várias metodologias de programação dos controladores lógicos programáveis industriais. Para este trabalho, adotou-se a linguagem de programação Ladder, por ser difundida no mercado, permitindo a criação de blocos lógicos padronizados.

Para realizar a interface entre os operadores e o sistema automatizado, faz-se necessário o desenvolvimento de um Sistema Supervisório, conforme explanado na seção a seguir.

2.3.4 Sistema Supervisório (SCADA)

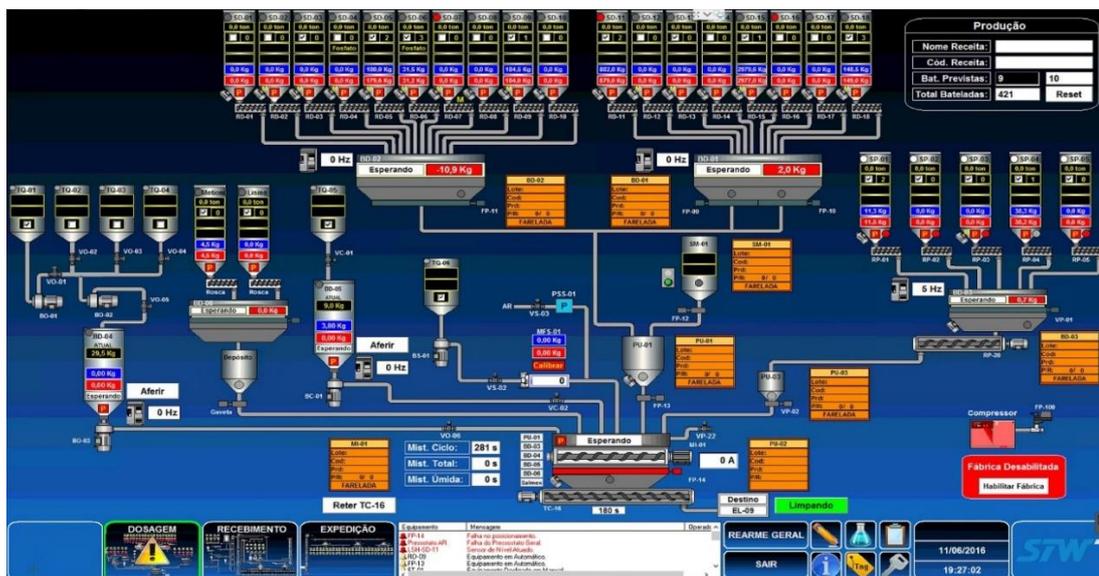
O sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados) ou sistema supervisório é um software desenvolvido para monitorar e controlar variáveis do sistema em tempo real através de um ou mais CLPs. Com os dados monitorados, o operador poderá tomar ações para o gerenciamento e controle do processo automatizado (ROSÁRIO, 2005).

Os sistemas SCADA podem ser executados em um computador ou em uma IHM (Interação Homem Máquina – ou da sigla em inglês HMI - *Human Machine Interface*). Ambas as soluções comunicam-se com os CLPs através de um barramento, utilizando os mais diversos protocolos de comunicação disponíveis no mercado.

Atualmente, os sistemas SCADA comunicam-se por rede Ethernet, utilizando protocolos Profinet ou Ethernet/IP, mas antigamente comunicavam por RS232, ModBus, ControlNet (LAMB, 2015 e ROSÁRIO, 2005).

A figura 19 exibe um exemplo de supervisório desenvolvido em software Elipse E3, mostrando os estados do sistema e alarmes do mesmo.

Figura 19 – Exemplo de sistema SCADA desenvolvido em Elipse E3.



Fonte Adaptado de STW (2016).

O sistema SCADA é uma tecnologia que permite aos usuários coletar dados de instalações distantes e enviar instruções de controle para as mesmas. Esse sistema facilita o trabalho de inspeção do processo, realizado anteriormente de forma manual por operadores.

Além de permitir monitorar dados de uma aplicação, o sistema SCADA também proporciona a um operador posicionado em uma localização central, a possibilidade de fazer alterações e ajustes em controladores de processo distantes, gerar relatórios de eventos e medições, monitorar alarmes e acionar equipamentos e mecanismos em um processo distribuído, como é o caso de uma indústria de fabricação de ração animal (BOYER, 2004).

Principais características do sistema SCADA:

- Modo gráfico amigável para monitoramento de variáveis e controle do sistema;
- Armazenamento de informações em banco de dados;
- Histórico de alarmes do sistema;
- Compartilhamento de informações;
- Fácil conexão com os controladores;

Com base nas informações apresentadas no Referencial Teórico, será apresentada a Proposta deste trabalho no capítulo a seguir. Todos os assuntos abordados no Referencial Teórico serão aplicados no desenvolvimento deste trabalho.

3. PROPOSTA

A ideia deste trabalho originou-se da pesquisa elaborada dentro da empresa STW Soluções em Automação, onde verificou-se a necessidade de mudança no sistema de dosagem desenvolvido e aplicado em fábricas de rações nos últimos anos. Para tanto, verificou-se a estrutura de duas empresas de ração animal da região, para fins de identificação dos principais componentes da etapa de dosagem de matéria prima, bem como a rotina de produção.

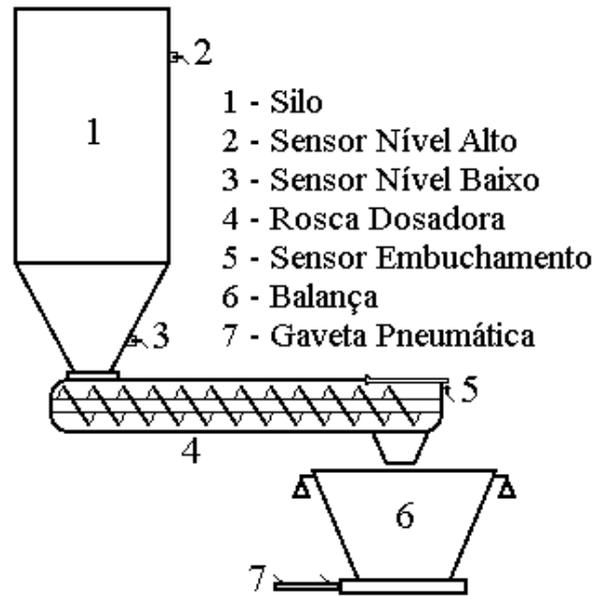
Com base em entrevista com os responsáveis destas empresas e análise dos dados coletados do sistema de dosagem existente, propõe-se o desenvolvimento de um software capaz de executar de forma automatizada as dosagens de diferentes matérias primas, utilizando rosca dosadora com inversor de frequência, objetivando um processo eficiente, com dosagens em conformidade com os setpoints estabelecidos.

Para tanto, primeiramente será apresentado o sistema atual, suas principais características e nuances, para então elucidar o sistema proposto neste trabalho.

3.1 Sistema Atual

A Figura 20 apresenta um diagrama do sistema de dosagem, contemplando os principais recursos (silo, sensores, atuadores).

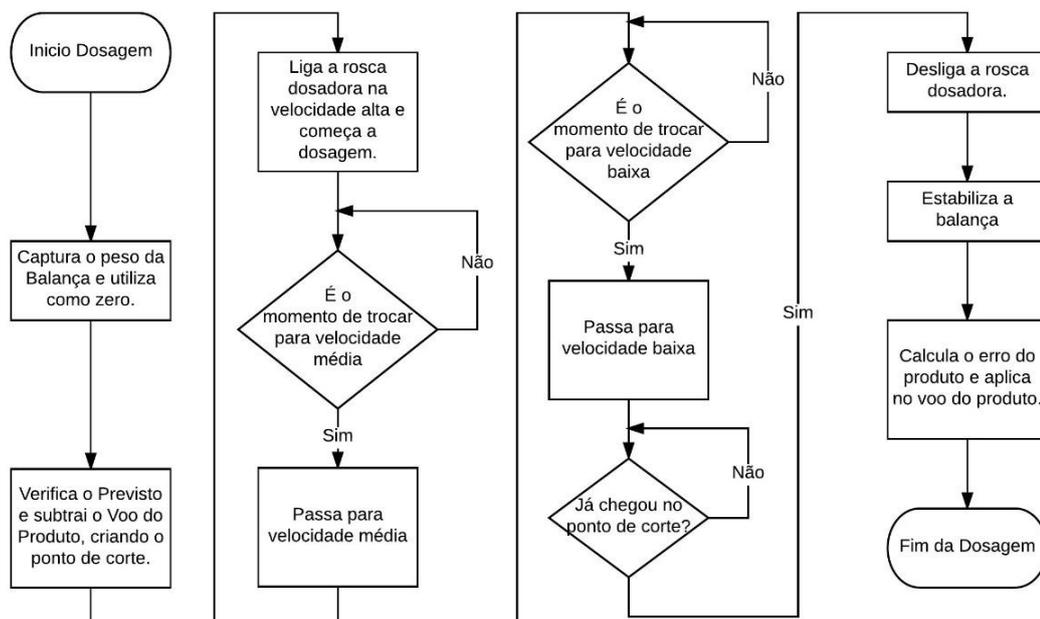
Figura 20 – Fluxo de dosagem.



Fonte Autor.

O Fluxograma da Figura 21 a seguir apresenta a rotina de dosagem desenvolvida pela equipe da STW Automação Industrial, a qual é utilizada atualmente em diversas fábricas do ramo. Conforme apresentado no Fluxograma, o sistema atual baseia-se na parametrização de três faixas de velocidade (alta, média e baixa) das roscas dosadoras, por parte do operador do sistema.

Figura 21 – Fluxograma de dosagem existente.



Fonte Autor.

Esta rotina demonstrou-se funcional nos últimos anos, mas seu funcionamento depende da configuração correta dos devidos parâmetros por parte do usuário. Caso as faixas de velocidade informadas sejam muito próximas entre si para roscas com dosagens de pequenas quantidades de matéria prima, o sistema realizará a troca de faixas de forma abrupta, acarretando a conformidade.

A Figura 22 apresenta a interface de configuração dos parâmetros utilizada atualmente.

Figura 22 – Tela de configuração de parâmetros do sistema existente.

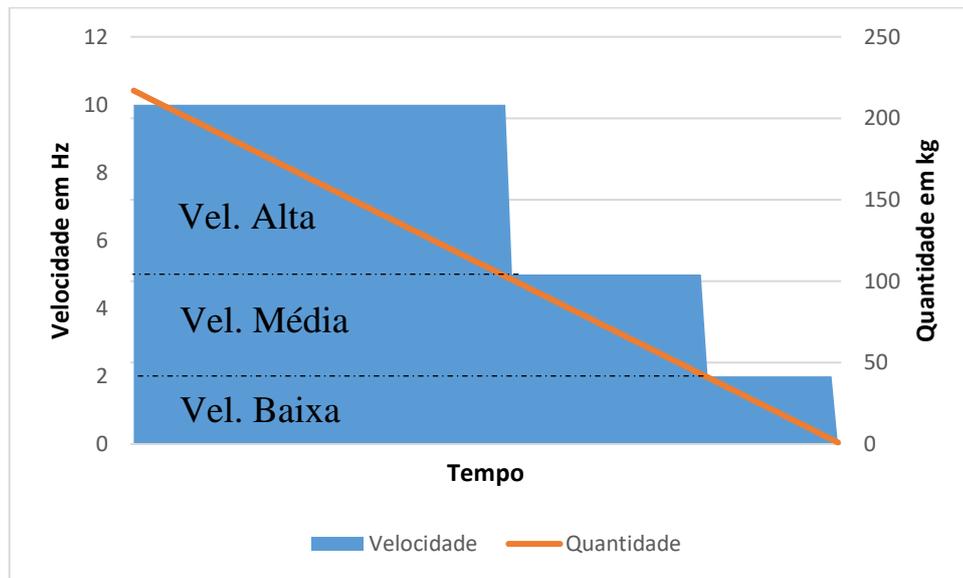
A-15			
	Alta	Média	Baixa
Frequência	33 Hz	33 Hz	22 Hz
Quantidade	50,0 Kg		8,0 Kg
Voo do Produto	7,1 Kg	<input checked="" type="checkbox"/> Hab. Voo do Produto	
Tempo Máximo Dosagem	60,0 s	<input checked="" type="checkbox"/> Habilita Silo	
Tempo Máximo Tentativa	3000 ms	<input type="checkbox"/> Flag Secundário	
Quantidade de Tentativas	3	Fechar	

Fonte adaptado de STW.

Embora o sistema calcule o erro de dosagem a cada batelada, através da interface apresentada na Figura 22 percebe-se que a lógica é dependente das configurações realizadas pelos operadores, o que pode acarretar em abordagens de tentativa e erro. Em determinados casos, devido a configurações incorretas, o sistema pode incorrer em perdas de eficiência e/ou conformidade de dosagem.

O Gráfico 2 apresenta uma simulação de funcionamento do sistema atual, relacionando a velocidade de dosagem com a quantidade dosada.

Gráfico 2 – Curva de dosagem do software existente.



Fonte Autor.

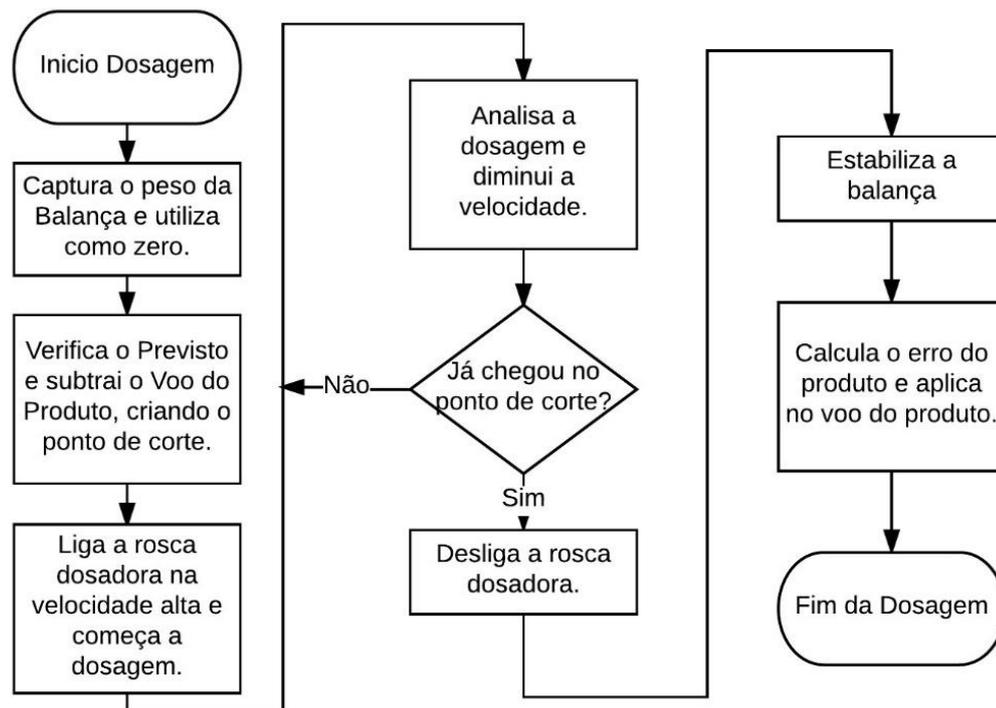
Percebe-se, analisando o Gráfico 2, que a eficiência e a conformidade do processo são totalmente dependentes dos parâmetros configurados pelo operador do sistema. Em um sistema ideal, o tempo em Velocidade Alta deve ser o maior possível, visando agilizar o processo. Além disso, a relação entre Velocidades Alta e Média também pode reduzir a eficiência da dosagem, inclusive gerando problemas no momento da troca para Velocidade Baixa (ajuste fino).

Com base nos fatos mencionados, apresenta-se na seção a seguir o sistema proposto neste trabalho, visando corrigir todos os problemas apontados.

3.2 Sistema Proposto

O Fluxograma da Figura 23 a seguir apresenta a rotina que será executada a partir do desenvolvimento do software proposto neste trabalho.

Figura 23 – Fluxograma de dosagem proposto.



Fonte Autor.

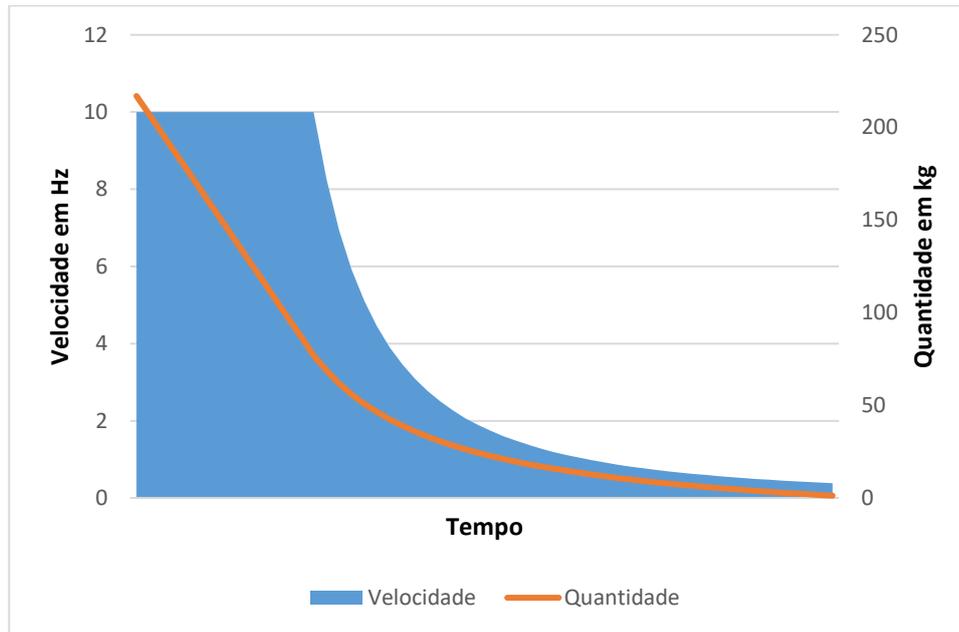
Conforme ilustrado na Figura 23, o sistema proposto irá manipular a frequência do eixo da rosca dosadora constantemente, visando reduzir sua velocidade de forma gradativa, conforme o valor dosado aproxima-se do setpoint programado. Sendo assim, não serão utilizados os parâmetros de Velocidade Alta, Média e Baixa.

Desta forma, o operador deverá programar, via Sistema Supervisório, apenas dois parâmetros de configuração:

- Velocidade Máxima da Rosca;
- Velocidade Mínima da Rosca;

Tais parâmetros são utilizados como limitadores de segurança operacional e apenas balizam a execução da lógica a ser desenvolvida, limitando-a com tais valores. O Gráfico 3 apresenta a tendência de dosagem objetivada com a aplicação deste novo sistema.

Gráfico 3 – Curva de dosagem do software proposto.



Fonte Autor.

Com a lógica a ser desenvolvida, o software irá manipular a rosca para que mantenha por maior tempo possível a velocidade alta e, conforme análise da quantidade dosada, irá calcular para que diminua gradativamente a velocidade, visando um ajuste fino com a menor velocidade suportada pela rosca. Como resultados esperados, cita-se maior conformidade de dosagem, sem acarretar a eficiência do processo.

Além disso, a partir de cada batelada, o software calculará o erro de dosagem e ajustará a curva, visando reduzi-lo o máximo possível. A partir dos cálculos e da aplicação do sistema, será possível identificar possíveis problemas estruturais que impeçam que a automação reduza os erros de dosagem, bem como torne-se mais eficiente.

Como exemplos, pode-se citar a precisão da balança, dimensões de roscas dosadoras, velocidade máxima permitida para dosagem, dentre outros componentes estruturais que podem ser identificados a partir dos resultados obtidos com o sistema proposto.

Primeiramente, o sistema será desenvolvido em um Controlador Lógico Programável da marca Allen-Bradley, modelo 1769-L36, utilizando-se o software RSLogix5000. Além disso, serão desenvolvidas as devidas telas de controle em um Sistema SCADA da marca Elipse, modelo E3.

Salienta-se, contudo, que, com os devidos ajustes, o software poderá ser utilizado com qualquer CLP que siga as normas da IEC 61131 e qualquer inversor de frequência que permita alguma comunicação de rede ou entrada analógica para controle de velocidade. Da mesma forma, a lógica poderá ser configurada com diversos Sistemas Supervisórios comerciais, permitindo sua aplicação em diferentes fábricas de ração animal.

Para fins de validação do trabalho, o sistema será aplicado em uma fábrica de ração animal da região do Vale do Taquari, com as devidas adaptações para contemplar o processo. Todos os dados inerentes ao processo poderão ser analisados a partir de relatórios gráficos e textuais, visando identificar os resultados alcançados e propor melhorias estruturais, justificando tais investimentos.

4. DESENVOLVIMENTO

Conforme estabelecido na proposta, o presente trabalho foi desenvolvido em um CLP Allen-Bradley (marca e modelo), compatível com a norma IEC-61131-3, utilizando-se como linguagem de programação para as rotinas lógicas e blocos de funções (Add-on Instruction) as linguagens Ladder e Function Block Diagram (FBD). Em virtude disso, a lógica pode ser aplicada em diversos modelos de diferentes fabricantes de CLP que atendam a esta norma.

O primeiro passo constituiu a elaboração de uma Tela de Supervisório contemplando somente os recursos acessíveis ao operador do sistema. No modelo anterior, o operador configurava os valores de Frequências Baixa, Média e Alta (Hz), bem como os valores de peso (kg) onde ocorreriam as trocas de velocidade (Figura 24a).

Já no novo modelo, o operador apenas configura as Frequências Mínima e Máxima (Hz), apenas para a segurança operacional. Logo após, o operador configura o valor total a ser dosado, no campo Quant (kg). A Figura 24b apresenta o layout do novo modelo, comparando-o com o método antigo. Neste exemplo, o operador configurou uma dosagem de 50 kg de matéria prima, sendo que o Conversor de Frequência deve operar entre 15 Hz e 50 Hz.

Figura 24 – Alterações das telas de parâmetros.

A-15				A-16			
	Alta	Média	Baixa	Calibração	Máxima	Minima	Quant.
Frequência	33 Hz	33 Hz	22 Hz	Frequência	60 Hz	15 Hz	50 Kg
Quantidade	50,0 Kg		8,0 Kg	Calibrar		Calibrar	
Voo do Produto	7,1 Kg	<input checked="" type="checkbox"/> Hab. Voo do Produto		Voo do Produto	5 Kg	<input checked="" type="checkbox"/> Hab. Voo Automático	
Tempo Máximo Dosagem	60,0 s	<input checked="" type="checkbox"/> Habilita Silo		Tempo Máximo Dosagem	60 s	<input checked="" type="checkbox"/> Habilita Silo	
Tempo Máximo Tentativa	3000 ms	<input type="checkbox"/> Flag Secundário		Tempo Máximo Tentativa	4000 ms	<input type="checkbox"/> Flag Secundário	
Quantidade de Tentativas	3	Fechar		Quantidade de Tentativas	3	Fechar	

(a)

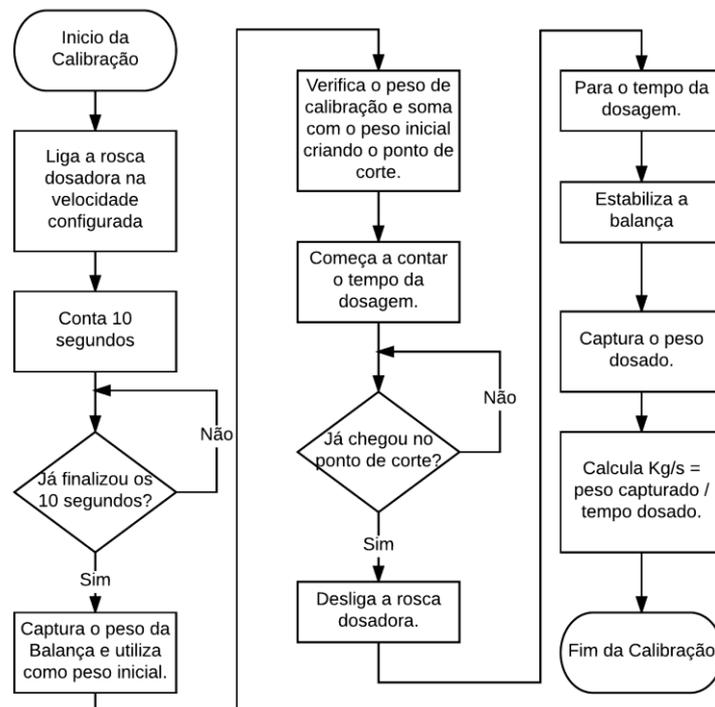
(b)

Fonte Autor.

4.1 Calibração do Sistema

Primeiramente, o usuário deve clicar nos Botões Calibrar, para que o sistema realize os cálculos de dosagem e armazene tais valores. A calibração é realizada em duas etapas, conforme ilustra o fluxograma da Figura 25.

Figura 25 – Fluxograma de calibração.



Fonte Autor.

Conforme ilustrado pela Figura 25, primeiro o usuário clica em Calibrar o valor dosado na Frequência Mínima. Neste momento, o sistema irá dosar o valor configurado em Quant. (kg) na Frequência Mínima configurada pelo usuário. Quanto maior o valor dosado, mais preciso será o cálculo. Para fins de elucidação, será utilizada a Figura 26 como exemplo.

Figura 26 – Tela de parâmetros de Calibração.

A-16			
Calibração	Máxima	Mínima	Quant.
Frequência	40 Hz	10 Hz	50 Kg
	Calibrar	Calibrar	
Voo do Produto	5 Kg	<input checked="" type="checkbox"/> Hab. Voo Automático	
Tempo Máximo Dosagem	60 s	<input checked="" type="checkbox"/> Habilita Silo	
Tempo Máximo Tentativa	4000 ms	<input type="checkbox"/> Flag Secundário	
Quantidade de Tentativas	3		Fechar

Fonte Autor.

Na Figura 26, tem-se como exemplo de Frequência Mínima o valor de 10 Hz e a quantidade a ser dosada equivalente a 50 kg. Ao pressionar o botão de Calibrar Mínimo, o sistema irá dosar os 50 kg utilizando somente a Frequência de 10 Hz. Entretanto, o cálculo será realizado após 10 s do acionamento da rosca dosadora, para garantir um escoamento gravitacional constante de produto. Salienta-se que a rosca dosadora pode estar vazia, então o cálculo seria realizado de forma errônea.

Durante o processo de dosagem da calibração mínima, o sistema realiza um cálculo para obter a relação de peso dosado por segundo, conforme a equação a seguir.

$$\frac{kg}{s} = \frac{Peso\ Dosado}{Tempo\ de\ Dosagem}$$

Os valores da Figura 26 foram testados no sistema real e a rosca demorou 32,76 s para dosar os 50 kg de matéria prima, em velocidade baixa, assim:

$$\frac{kg}{s} = \frac{50kg}{32,76s} = 1,54\ kg/s$$

Sendo assim, esta rosca permite dosar 1,54 kg de matéria prima por segundo na Frequência Mínima, uma informação importante para o controle da rampa de desaceleração do Conversor de Frequência para o ajuste fino (final da dosagem). Este valor será denominado como "Razão_Freq_Baixa" para futuros cálculos.

Em seguida, foi realizado o mesmo teste para a Calibração de Frequência Máxima. Seguindo os dados da Figura 26, o sistema realizou o mesmo processo de dosagem de 50 kg utilizando uma Frequência de 40 Hz. O tempo de dosagem foi equivalente a 11,39 s, ou seja,

$$\frac{kg}{s} = \frac{50kg}{11,39s} = 4,44 \text{ kg/s}$$

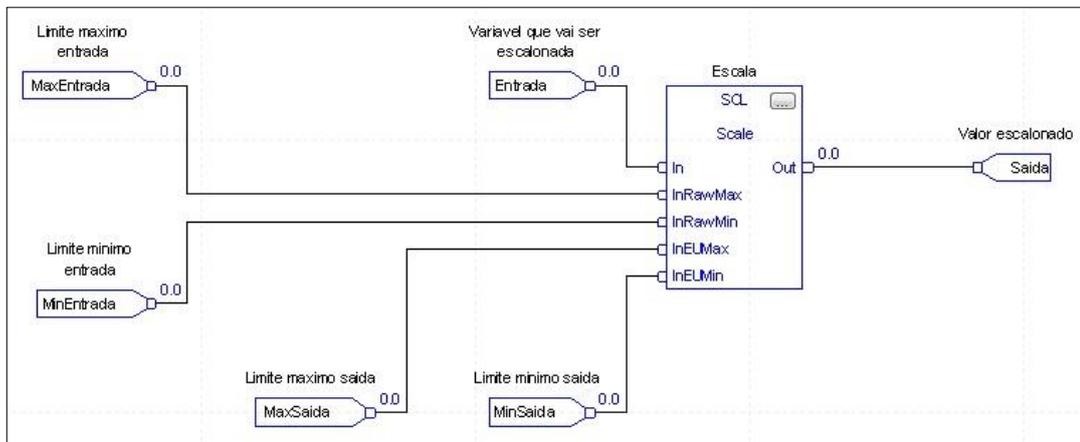
Sendo assim, esta rosca permite dosar 4,44 kg de produto por segundo utilizando a Frequência Máxima de 40 Hz configurada pelo operador antes da calibragem do sistema. Este valor será denominado como "Razão_Freq_Alta" para futuros cálculos.

Com base nessas informações, o sistema irá calcular a rampa de desaceleração do Conversor de Frequência, visando exatidão e eficiência na dosagem.

4.2 Bloco de Escalonamento

No modelo anterior, o sistema realizava a dosagem utilizando valores absolutos de peso em kg. No modelo proposto, o sistema trabalha com percentual de valor máximo, ou seja, o usuário configura o valor total a ser dosado (kg) e um Bloco Lógico define os valores percentuais desta dosagem, conforme ilustram as Figuras 27 e 28.

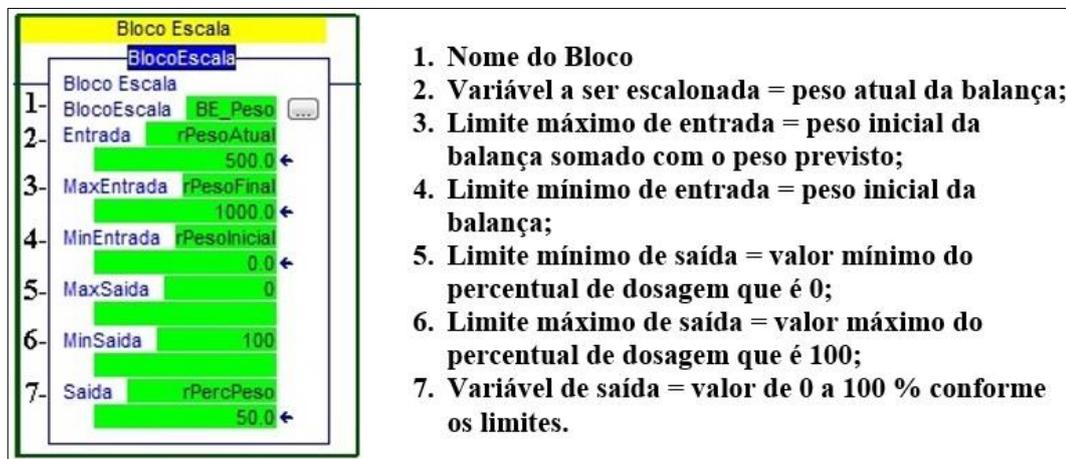
Figura 27 – Bloco de escalonamento explodido utilizando FBD.



Fonte Autor

A Figura 27 apresenta o layout do Bloco Escala, ou seja, a forma como este é inserido em uma rotina lógica, podendo ser replicado tantas vezes for necessário.

Figura 28 – Bloco Escala no ladder.



Fonte Autor.

Como ilustrado na Figura 28, há na balança um peso de 500 kg e a dosagem iniciou-se com a balança em 0 kg e o peso a ser dosado era de 1000 kg. Com isso, conforme foi configurado o escalonamento da saída entre 0% a 100%, a variável em percentual mostra 50%. Ou seja, o Bloco já identifica o percentual de peso dosado a partir dos valores inicial, atual e final. Com isso, após a calibragem, todos os cálculos são realizados em percentual, ou seja, o sistema se adapta a qualquer valor a ser dosado, pois não utiliza valores absolutos nos cálculos.

4.3 Controle de Desaceleração da Rosca Dosadora

Com base nas informações obtidas nas Figuras 24 a 28 e nas equações das seções anteriores, o sistema define o momento ideal para iniciar a desaceleração da rosca dosadora. O momento da desaceleração é informado em valor percentual a ser dosado, ou seja, quando restar x% do valor a ser dosado, o sistema iniciará a desaceleração da rosca dosadora.

Para tanto, foi utilizada a seguinte equação:

$$PARÂMETRO\ DESACELERAÇÃO = \left(\frac{Razão_Freq_Alta}{Razão_Freq_Baixa} \right)^2 \times Razão_Freq_Alta$$

Utilizando os valores obtidos nas seções anteriores, tem-se que:

$$PARAMETRO\ DE\ DESACELERAÇÃO = \left(\frac{4,44\ kg/s}{1,54\ kg/s} \right)^2 \times 4,44\ kg/s$$

$$PARÂMETRO\ DE\ DESACELERAÇÃO = 36$$

O valor 36 obtido é um parâmetro utilizado para uma próxima etapa de cálculo, a qual determina o percentual restante a ser dosado para iniciar a desaceleração,

$$PONTO\ DE\ DESACELERAÇÃO = 100 \times \frac{Parâmetro\ de\ Desaceleração}{Peso\ Total\ a\ ser\ Dosado}$$

Utilizando os valores calculados anteriormente, pode-se definir os pontos de desaceleração para diferentes valores de dosagem, conforme segue:

$$PONTO\ DE\ DESACELERAÇÃO = 100 \times \frac{36}{200\ kg} = 18\%$$

$$PONTO\ DE\ DESACELERAÇÃO = 100 \times \frac{36}{100\ kg} = 36\%$$

$$PONTO\ DE\ DESACELERAÇÃO = 100 \times \frac{36}{50\ kg} = 72\%$$

Sendo assim, o sistema definiu que, para uma receita de 200 kg, quando restar 18% de matéria prima a ser dosada na balança, a rosca dosadora será desacelerada proporcionalmente, para fins de gerar um ajuste fino. Já para uma receita de 100 kg, o ponto de corte ocorre quando restar 36% a ser dosado. Por fim, para uma receita de 50 kg, o ponto de corte ocorre com 72% de produto a ser dosado.

Conclui-se que, quando maior a quantidade a ser dosada, menor o percentual do ponto de desaceleração. Ou seja, o sistema objetiva permanecer o maior tempo possível em Frequência Máxima, para então desacelerar, não comprometendo eficiência e precisão.

A Figura 29 apresenta a rotina que realiza os cálculos mencionados.

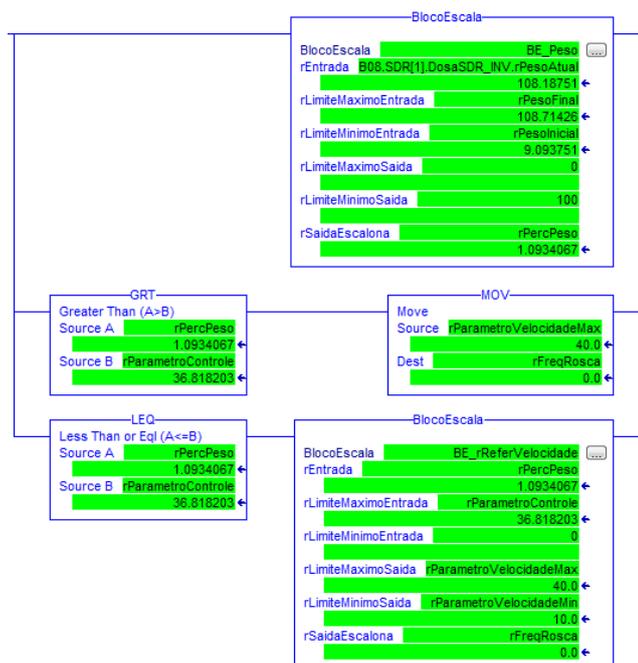
Figura 29 – Algoritmo discreto do parâmetro de velocidade.



Fonte Autor.

A Figura 30 apresenta a rotina de desaceleração da rosca dosadora.

Figura 30 – Algoritmo discreto de controle da velocidade.



Fonte Autor.

Por fim, tomando como exemplo os valores configurados e calculados, tem-se uma dosagem de 50 kg de matéria prima, com Frequências entre 10 Hz e 40 Hz. Com base nos cálculos, descobriu-se que o momento ideal para desacelerar a rosca dosadora ocorre quando restar 36% do valor a ser dosado, ou seja,

$$50 \text{ kg} \times 36\% = 18 \text{ kg}.$$

Isto quer dizer que, quando restar 18 kg a ser dosado, o sistema irá desacelerar a rosca dosadora. Este valor será automaticamente atualizado, caso a receita da dosagem seja alterada. Caso o usuário não altere os limiares de frequência, não há a necessidade de recalibrar o sistema.

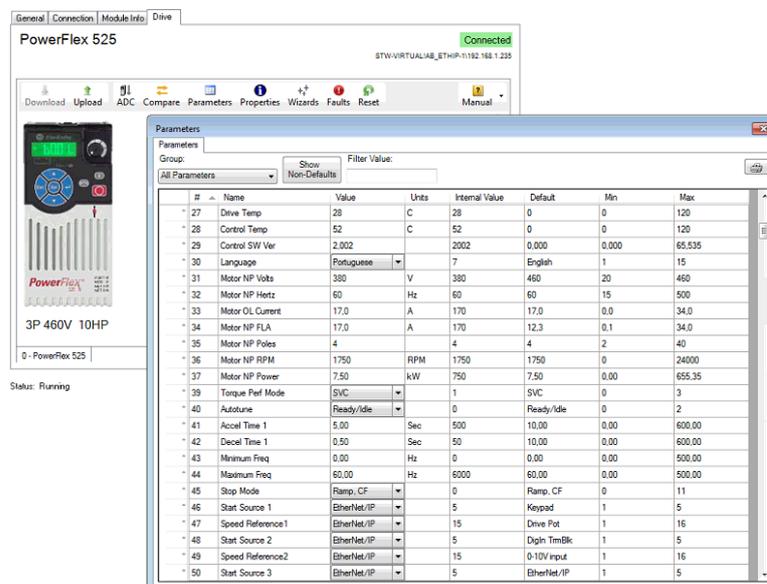
5. RESULTADOS

As seções a seguir apresentam os resultados obtidos a partir da implementação do sistema proposto em uma empresa de ração animal do Vale do Taquari. Os testes foram realizados nos meses de maio e junho de 2017, utilizando uma rosca dosadora de Farinha de Pena.

5.1 Configuração do Sistema

Os equipamentos utilizados para os testes de funcionamento foram uma rosca dosadora com motor de 7,5 kW, com um inversor de frequência Allen Bradley PowerFlex 525 de 3P-460V-10HP, com rampa de desaceleração de 500ms, conforme Figura 31.

Figura 31 – Parâmetros do motor e do driver.



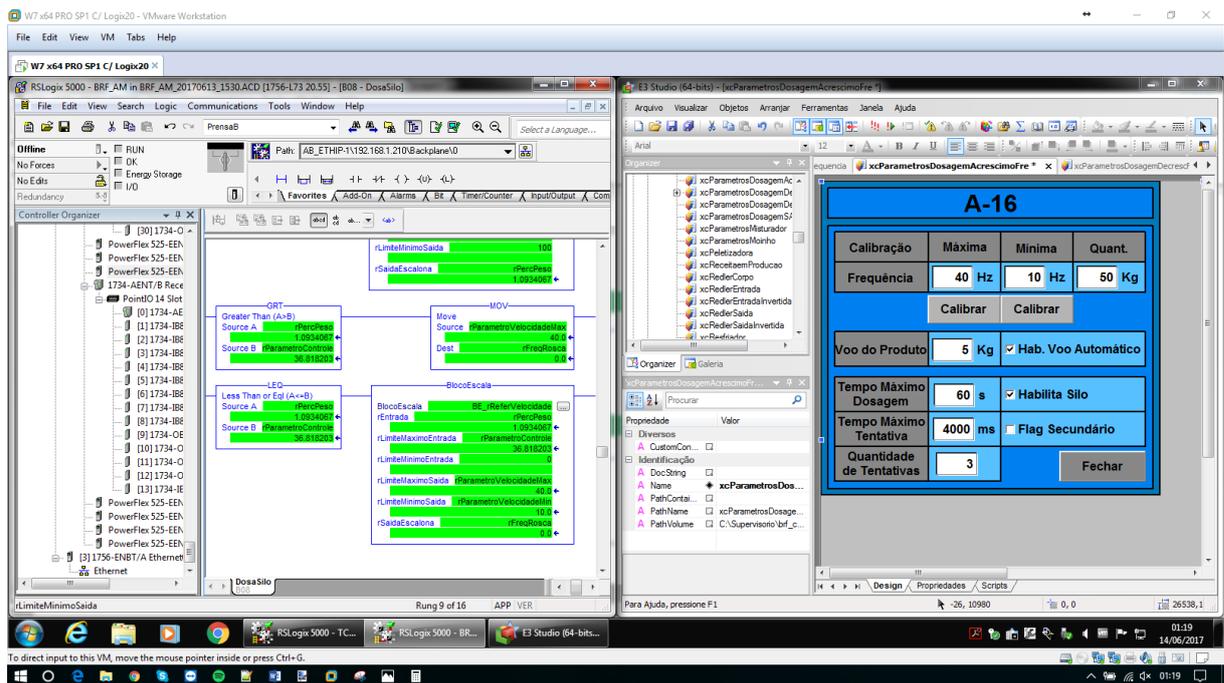
The screenshot displays the 'Parameters' window of the PowerFlex 525 software. The window is titled 'PowerFlex 525' and shows a 'Connected' status. The 'Parameters' window is divided into a 'Group' dropdown (set to 'All Parameters') and a 'Filter Value' field. Below this is a table of parameters with columns for '#', 'Name', 'Value', 'Units', 'Internal Value', 'Default', 'Min', and 'Max'. The status bar at the bottom left indicates 'Status: Running'.

#	Name	Value	Units	Internal Value	Default	Min	Max
* 27	Drive Temp	28	C	28	0	0	120
* 28	Control Temp	52	C	52	0	0	120
* 29	Control SW Ver	2.002		2002	0.000	0.000	65.535
* 30	Language	Portuguese		7	English	1	15
* 31	Motor NP Volts	380	V	380	480	20	460
* 32	Motor NP Hertz	60	Hz	60	60	15	500
* 33	Motor OL Current	17.0	A	170	17.0	0.0	34.0
* 34	Motor NP FLA	17.0	A	170	12.3	0.1	34.0
* 35	Motor NP Poles	4		4	4	2	40
* 36	Motor NP RPM	1750	RPM	1750	1750	0	24000
* 37	Motor NP Power	7.50	kW	750	7.50	0.00	655.35
* 39	Torque Pef Mode	SVC		1	SVC	0	3
* 40	Autotune	Ready/Idle		0	Ready/Idle	0	2
* 41	Accel Time 1	5.00	Sec	500	10.00	0.00	600.00
* 42	Decel Time 1	0.50	Sec	50	10.00	0.00	600.00
* 43	Minimum Freq	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00
* 44	Maximum Freq	60.00	Hz	6000	60.00	0.00	500.00
* 45	Stop Mode	Ramp_CF		0	Ramp_CF	0	11
* 46	Start Source 1	EtherNet/IP		5	Keypad	1	5
* 47	Speed Reference 1	EtherNet/IP		15	Drive Pot	1	16
* 48	Start Source 2	EtherNet/IP		5	Dgln TrmBlk	1	5
* 49	Speed Reference 2	EtherNet/IP		15	0-10V input	1	16
* 50	Start Source 3	EtherNet/IP		5	EtherNet/IP	1	5

Fonte Autor.

O CLP utilizado foi um Allen Bradley Contrologix 1756-L73 e o software de programação da lógica o RSLogix 5000 da Rockwell e para o SCADA o Elipse E3, conforme Figura 32.

Figura 32 – Softwares utilizados, RSLogix 5000 (a) e Elipse E3 (b).



(a)

(b)

Fonte Autor.

5.2 Testes com Parâmetros Manuais

Primeiramente, foi realizada uma análise de tempo de dosagem do modelo antigo, tomando como base uma dosagem de 82 kg de farinha de pena. A Figura 33 apresenta um gráfico com o desempenho do sistema utilizando o modelo antigo de dosagem.

Figura 33 – Gráfico do sistema antigo dosando.



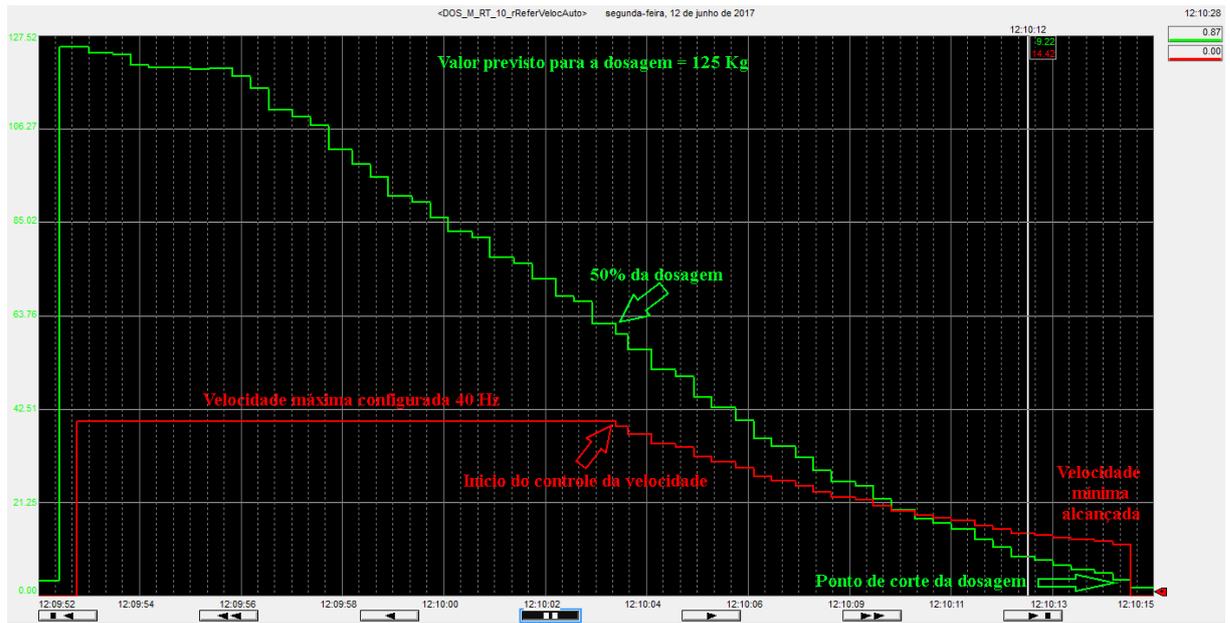
Fonte Autor.

Analisando a Figura 33, nota-se que a dosagem (linha verde) levou um tempo aproximado de 12 s para dosar os 82 kg do produto farinha de pena e a velocidade (linha amarela) foi alterada em dois momentos, iniciando com 40 Hz, passando para 18 Hz e para finalizar 10 Hz. A tendência de dosagem praticamente ficou uma reta, mas não conseguiu realizar um ajuste fino pois não conseguiu reduzir a velocidade a tempo para que isso ocorresse.

Analisando o gráfico da Figura 33, constata-se que o tempo necessário para dosagem de 82 kg de produto foi de 12 s.

Na sequência, foi realizada uma dosagem de 125 kg de farinha de pena com o novo controle de velocidade, porém com o parâmetro de controle fixado manualmente em 50%. Assim, quando a dosagem atingiu os 50% do valor programado em kg, a programação começou a agir na velocidade alterando a mesma para que realizasse um ajuste fino. A Figura 34 apresenta o resultado deste teste.

Figura 34 – Gráfico do sistema novo dosando com valor de parâmetro fixado em 50%.



Fonte Autor.

Nota-se que a curva do peso (linha verde) começa a mudar a declividade para o ajuste fino, junto com a velocidade do equipamento, suavizando o término da dosagem. A velocidade tendeu a chegar a velocidade mínima configurada no sistema e o tempo que levou para dosagem foi aproximadamente 21 s. Salienta-se que o valor de 50% da dosagem para iniciar a desaceleração foi configurado manualmente, sem utilizar a rotina de cálculos do sistema.

Depois, foi alterado o parâmetro de controle para o valor fixo de 30%, assim o gráfico mudou novamente, conforme a Figura 35.

Figura 35 – Gráfico do sistema novo dosando com valor de parâmetro fixado em 30%.



Fonte Autor.

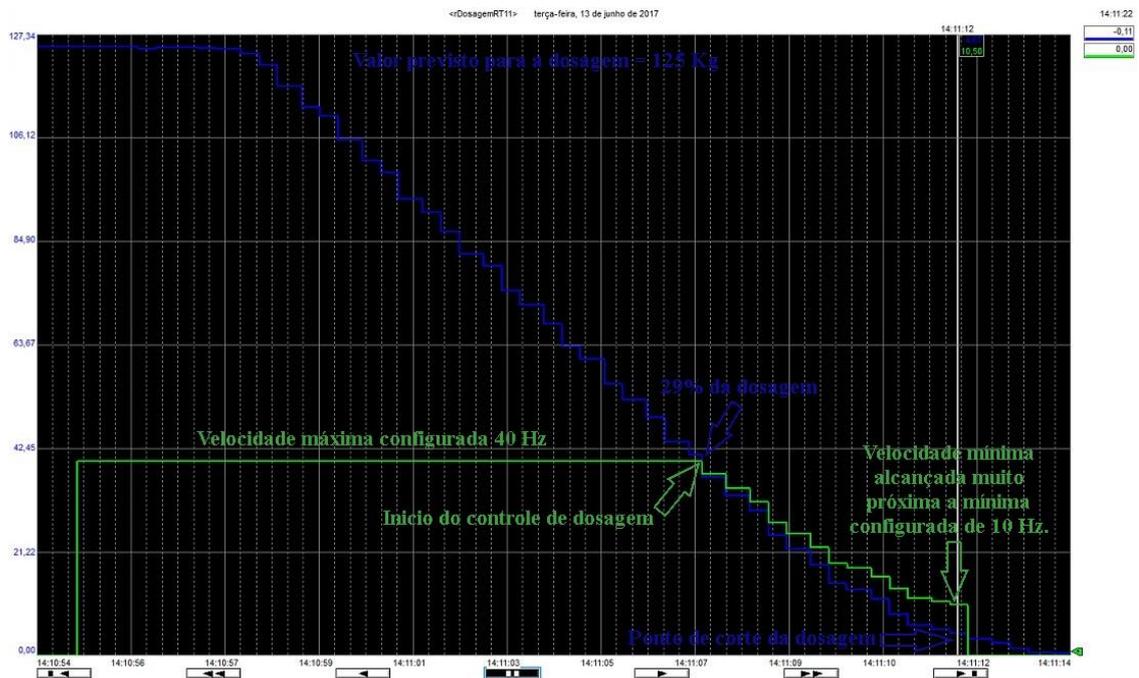
Analisando-se o comportamento do gráfico da Figura 35, notou-se que, com essa alteração, houve uma redução no tempo de dosagem, pois os mesmos 125 kg foram dosados em aproximadamente 17 s.

Ambos os testes com o modelo novo utilizaram o ponto de desaceleração configurado manualmente, a fim de validar a rotina de desaceleração. Desta forma, foi validada a rotina de desaceleração, iniciando-se assim a segunda batelada de testes.

5.3 Testes com Parâmetros Calculados

Primeiramente, foi solicitado que o usuário realizasse a Calibração do sistema, conforme explanado na seção 4.1. A partir da calibração, o sistema definiu que o momento da desaceleração deve ocorrer quando restar 29% do valor a ser dosado, no caso de uma dosagem de 125 kg de produto. A Figura 36 apresenta uma batelada com essas configurações.

Figura 36 – Gráfico do sistema dosando com valor de parâmetro calculado.



Fonte Autor.

Conclui-se que o sistema funcionou de forma plena, controlando a frequência da rosca dosadora conforme os parâmetros calculados. Entretanto, há apenas uma ressalva a ser feita com relação a problemas encontrados. Reparando na Figura 36, percebe-se que, quase no final da dosagem, o Conversor de Frequência é desligado abruptamente.

Este momento é chamado de Ponto de Corte ou Vôo de Produto. Representa a quantidade de produto que é despejado na balança por ação da gravidade mesmo após o desligamento da rosca dosadora. Salienta-se que há um tempo de resposta entre o desligamento da rosca dosadora e o produto lido pela balança.

Tendo em vista que as roscas dosadoras transportam produto de um silo de armazenagem para a balança, o sistema deve garantir que o silo possua produto suficiente a ser dosado em cada batelada. Caso ocorra do silo ficar vazio, ou produto ficar preso na saída do silo no momento do Ponto de Corte, pode ocorrer um erro de dosagem por falta de produto.

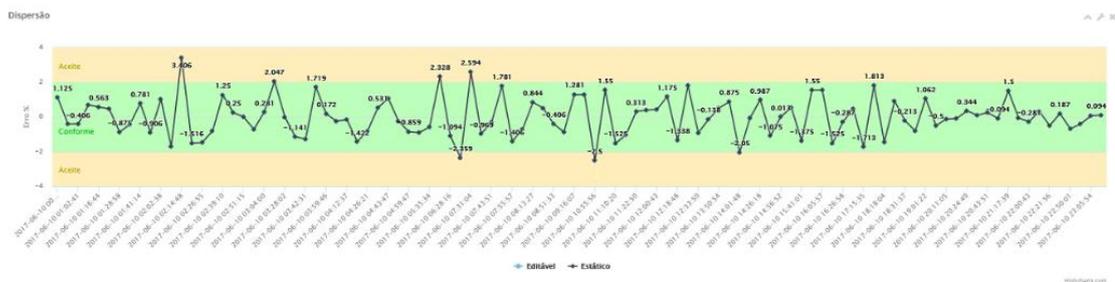
Este é um problema que será tratado em uma etapa futura a este trabalho, pois não envolve os cálculos aqui apresentados, mas sim um problema mecânico da empresa objeto deste estudo.

5.4 Comparativo de Conformidade de Dosagem

Esta seção apresenta um comparativo da conformidade das dosagens realizadas com o modelo antigo e o modelo proposto neste trabalho. Para tanto, foi utilizada a ferramenta MES3 desenvolvida pela STW Automação Industrial, a qual compila informações inerentes do processo armazenadas em um Banco de Dados e exibe-os textualmente e graficamente.

A Figura 37 apresenta uma análise das bateladas realizadas com o modelo antigo de dosagem.

Figura 37 – Conformidade do Sistema Antigo.



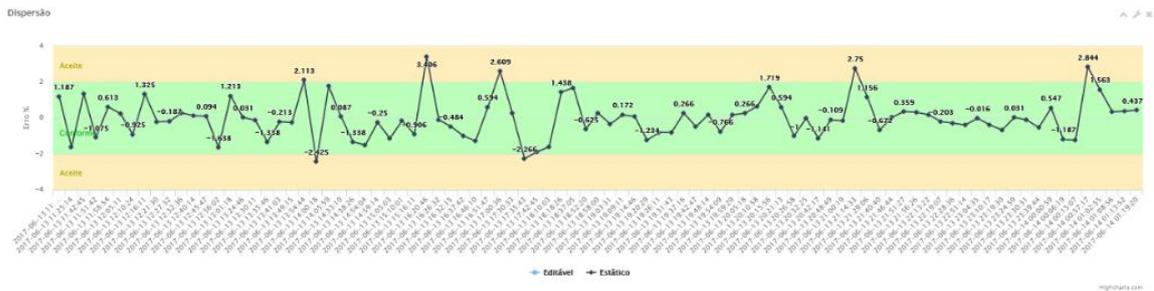
Fonte Sistema MES3 da BRF.

A Figura 37 compila um total de 102 bateladas de Farinha de Pena. Para fins de validação da conformidade do sistema, foi configurado um valor de $\pm 2\%$ de erro tolerável. Sendo assim, caso um valor dosado esteja dentro da faixa de 2% de erro, a batelada é considerada CONFORME. Caso o erro da dosagem seja superior a esta faixa, a batelada é considerada como ACEITE até um erro de 4%.

Utilizando o modelo antigo de dosagem, de 102 bateladas, 95 foram consideradas Conformes (erro inferior a 2%) e 7 foram consideradas Aceites (erro superior a 2% e inferior a 4%). Sendo assim, obteve-se um percentual de 93,13% de conformidade.

A Figura 38 apresenta uma análise das bateladas realizadas com o modelo desenvolvido neste trabalho.

Figura 38 – Conformidade do Sistema Desenvolvido.



Fonte Sistema MES3 da BRF.

A Figura 38 compila um total de 89 bateladas de Farinha de Pena. Para fins de validação da conformidade do sistema, foi configurado um valor de $\pm 2\%$ de erro tolerável, semelhante à análise da Figura 37. Utilizando o modelo desenvolvido, de 89 bateladas, 82 foram consideradas Conformes (erro inferior a 2%) e 7 foram consideradas Aceites (erro superior a 2% e inferior a 4%). Sendo assim, obteve-se um percentual de 92,13% de conformidade.

Sendo assim, o percentual de conformidade entre ambos os sistemas é praticamente igual, com uma diferença de 1% do total, ou seja, o sistema proposto não alterou consideravelmente a conformidade de dosagem. Além disso, o valor mensurado pode ter sido influenciado pelos problemas mecânicos mencionados anteriormente.

Entretanto, quanto ao tempo de dosagem, o resultado do sistema proposto é favorável. Para todas as dosagens realizadas, o tempo de dosagem foi consideravelmente reduzindo, chegando a uma diferença de 0,85 s por batelada. Tendo em vista que esta empresa realiza, em média, 350 bateladas por dia, o ganho para apenas uma rosca dosadora pode chegar a 5 minutos por dia. Considerando que o sistema possui um total de 60 roscas dosadoras, o resultado pode ser ainda maior se a lógica for aplicada a todas elas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema automatizado capaz de realizar melhorias no processo de dosagem em fábricas de ração animal, visando a conformidade e eficiência, para assim reduzir o desperdício do processo atual e amenizar as oscilações nas dosagens. O algoritmo desenvolvido permitiu realizar dosagens com uma maior velocidade se comparado ao sistema anterior, controlando as roscas dosadoras de forma gradativa, para fins de ajuste fino.

Conforme mencionado nos resultados obtidos, percebe-se que o sistema desenvolvido permitiu a realização de dosagens de forma mais eficiente, reduzindo o tempo do processo, sem alterar a conformidade do mesmo. Desta forma, a empresa alvo deste trabalho obteve ganho de produtividade e redução de desperdícios do processo produtivo de ração animal.

Além disso, o trabalho foi um grande aprendizado pessoal, pois com a análise de dados de dosagem, percebeu-se a necessidade de buscar novas ferramentas na automação para conseguir atingir tais resultados, envolvendo as mais diversas áreas da Engenharia de Controle e Automação. Tal prática também foi orientada através de diálogos com os engenheiros, técnicos e operadores das fábricas de ração para adquirir o conhecimento do processo e o contexto da mesma.

Por fim, como mencionado anteriormente, o processo produtivo possui problemas mecânicos e estruturais, os quais acabam acarretando em erros esporádicos no ponto de corte das roscas dosadoras. Como trabalho futuro, propõe-se o estudo e desenvolvimento de uma rotina lógica que vise amenizar tal problema, tendo em vista que sua ocorrência não é frequente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFA, Instrumentos. **Célula de Carga**. Texto digital, 2016. Disponível em: <<http://www.alfainstrumentos.com.br/produto/gl/>> Acesso em: 02/11/2016.
- ARTABAS, Equip. para Avicultura e Fab. de Ração. **Registro de Gaveta**. Texto digital, 2016. Disponível em: < <http://www.artabas.com.br/index.php?op=conteudo&id=125>> Acesso em: 16/10/2016.
- BEGA, E. A. et al. **Instrumentação Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência LTDA, 2006.
- BOLTON, W. **IEC 61131-3: Programmable Logic Controllers**. 4. ed. Oxford: Editora Elsevier, 2007.
- BOYER, Stuart A. **SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition**. United States of America: ISA 3rd ed. 2004. 219 p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Alimentação Animal**. Texto digital, Brasília, 2016a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/alimentacao>> Acesso em: 28/05/2016.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Exportação**. Texto digital, Brasília, 2016b. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/animal/exportacao>> Acesso em: 28/05/2016.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Melhoramento Genético Animal**. Brasília, 2016b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/producao-integrada-cadeia-pecuaria/melhoramento-genetico-animal>> Acesso em: 27/03/2016.
- BRF – Fábrica de Ração. Arroio do Meio, 2016.
- Caputi, B.; Costa, A. C.; Nogueira, E. T. **Nutrição Responsável: Contribuindo com o meio ambiente - Estratégias para reduzir a excreção e perda de nutrientes em aves e suínos**. Toledo : GFM Gráfica & Editora, 2011. Disponível em: <http://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2012/06/livro_nutricao_responsavel_sindiracoes2012.pdf> Acesso em: 05/11/2016.
- COSUEL – Cooperativa dos Suinocultores de Encantado Ltda. Encantado, 2016.

EMBRAPA. **Formulação de Misturas Mineraias para Bovinos de Corte**. Texto digital, 1987. Disponível em: <<http://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/ct/ct19/index.html>> Acesso em: 28/05/2016.

EMBRAPA. **Produção Suínos**. Texto digital, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/nutricao.html>> Acesso em: 28/07/2016

FESTO. **Sensores Magnéticos SMT-/SME-8M**. 2016. Disponível em: <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/13052/PSI_306_5_pt.pdf> Acesso em: 31/10/2016.

FRADEN, Jacob. **Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs and Applications**. 3. ed. New York: Editora LLC, 2004.

FRANCHI, Claiton M. **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2009.

FRANCHI, Claiton M. **Controle de Processos Industriais – Princípios e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2011.

INFOESCOLA, Navegando e Aprendendo. **Produção de bovinos em Confinamento**. 2015. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/zootecnia/producao-de-bovinos-em-confinamento/>> Acesso em: 17/09/2016.

INST. NEWTON C. BRAGA. **Os Inversores de Frequência (MEC125)**. Texto digital, 2016a. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/automacao-industrial/5443-mec125>> Acesso em: 05/11/2016.

JOHN, Karl-Heinz; TIEGELKAMP, Michael. **IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems**. 1. ed. Berlin: Editora Springer-Verlag, 2001.

KLEIN, A. A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração - Uma abordagem prática. **I Simpósio Internacional ACAV—Embrapa sobre Nutrição de Ave**, Concórdia, Novembro 1999.

L5. **Registro de Gaveta**. Texto digital, 2016. Disponível em: <http://www.l5hd.com.br/equipamentos/equipamento/18#.WB-sv_krKwW> Acesso em: 16/10/2016.

LAMB, Frank. **Automação Industrial – Na Prática**. Porto Alegre: AWGH, 2015.

MORAES, C. C. de.; CASTRUCCI, P. de L. **Engenharia de Automação Industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

NATALE, F. **Automação Industrial**. 8ª. ed. São Paulo: Érica, 2006.

PIRES, J. Norberto. **Automação Industrial**. 3. ed. Lisboa: ETEP, 2007.

PORTAL CÉLULA DE CARGA. **Célula de Carga**. Texto digital, 2016. Disponível em: <http://www.celuladecarga.com.br/portal/?page_id=8> Acesso em: 26/10/2016.

PORTAL EDUCAÇÃO. **Conceitos para Formulação de Ração: Ingredientes e Nutrientes.** 2008. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/veterinaria/artigos/2510/conceitos-para-formulacao-de-acao-ingredientes-e-nutrientes>> Acesso em: 27/03/2016.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de Mecatrônica.** São Paulo: Prentice Hall, 2005.

STW Soluções em Automação. Lajeado, 2016.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações.** 3. ed. São Paulo: Editora Érica LTDA, 2007.

VIBRAMAX. **Rosca Dosadora Helicoidal.** Texto digital, 2016. Disponível em: <<http://www.vibramax.com.br/rosca-transportadora-helicoidal>> Acesso em: 16/10/2016.

WEBB, J. W.; REIS, R. A. **Programmable Logic Controllers: Principles and Applications.** 5. ed. Ohio: PEARSON Prentice Hall, 2003.

WEG. **Sensores Magnéticos.** Texto digital, 2016a. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Sensores-Industriais/Sensores-Magneticos>> Acesso em: 31/10/2016.

WEG. **Motores de Indução Alimentador por Inversores de Frequência PWM.** 2016b. Disponível em: < <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-50029351-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>> Acesso em: 05/11/2016.