



Projeto

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

***Aplicações dos Sistemas de Pesagem na Indústria  
das Rações***

**José Luís Anselmo Ricardo**

Leiria, Setembro de 2017





Projeto

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

***Aplicações dos Sistemas de Pesagem na Indústria  
das Rações***

**José Luís Anselmo Ricardo**

Projeto de Mestrado realizado sob a orientação do Doutor Pedro José Franco Marques,  
Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de  
Leiria

Leiria, Setembro de 2017



*A todos que de alguma forma  
contribuíram para a realização  
deste trabalho.*



# Agradecimentos

---

A todos os professores, sem exceção, que fizeram parte de todo o meu caminho acadêmico, em especial ao meu orientador Professor Doutor Pedro José Franco Marques pela disponibilidade, apoio e motivação que me incutiu desde os tempos em que eu ainda era seu aluno de licenciatura. Motivação essa que me fez ultrapassar os momentos mais difíceis que ocorreram durante a realização deste trabalho.

Aos todos os meus colegas da HRV pela partilha de experiências, por me proporcionarem oportunidades de crescimento na área abordada neste projeto e pelos recursos disponibilizados.

A todos os colegas da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria pelo ânimo e apoio que sempre me transmitiram, principalmente os colegas de mestrado e licenciatura do curso de Engenharia Eletrotécnica.

Aos amigos de Leiria e Rio Maior que mesmo não estando ligados diretamente a este trabalho sempre me ajudaram a superar as dificuldades ao longo da vida.

Por último não podia deixar de agradecer àqueles que me são queridos especialmente à Rute, ao Joaquim, à Graça, ao José, ao Paulo, à Elsa e à Sofia pelo apoio demonstrado e pedir-lhes desculpa pelo tempo em que tive de estar mais ausente para poder realizar este trabalho.



## Resumo

---

Pretende-se com este documento, realizado no âmbito de projeto de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, descrever o funcionamento geral de uma fábrica de rações e os vários setores onde se encontram os instrumentos de pesagem, apresentando-os e fazendo um enquadramento técnico e legal deste tipo de equipamentos.

São enunciadas quais as normas, regulamentos e recomendações em vigor para este tipo de equipamentos (controlo metrológico). É abordado ainda os subequipamentos principais que constituem um instrumento de pesagem (módulo de pesagem e respetivo recetor de carga).

A metodologia para resolver o problema deste projeto passa por abordar as doseadoras ponderais automáticas como fazendo parte de um processo de ensaie e quais as principais características dos instrumentos de pesagem que as constituem e como a escolha dos seus componentes são determinantes na garantia da exatidão das pesagens e do controlo metrológico.

Por último e de acordo com a metodologia apresentada, será abordado no caso de estudo, o projeto de uma intervenção técnica desenvolvida na HRV Elétrica a cinco doseadoras ponderais automáticas existentes numa indústria de rações em Portugal. Essas doseadoras serão enquadradas no controlo metrológico de modo a assegurar a fiabilidade e confiança nas pesagens.

*Palavras-chave: (Fábrica de rações, instrumentos de pesagem, controlo metrológico, doseadoras ponderais automáticas)*



# Abstract

---

This document, written to satisfy the requirements of the internship of the master degree in Electrical Engineering from the Higher School of Technology and Management of the Polytechnic Institute of Leiria, intends to describe the general operation of a feed mill including the various sectors where weighing instruments are located. This kind of instruments is then discussed, while describing the technical and legal framework.

The rules, regulations and recommendations for this type of equipment are presented (metrological control). The main sub-equipment that constitutes a weighing instrument (weighing module and respective load receptor) are also discussed.

Methodologically, the automatic weight dosing machines will be approached as part of a bagging process. The main characteristics of the weighing instruments that constitute these weight dosing machines and the choice of its components will be shown as being decisive for the precision of the weighing process and the metrological control.

Finally, according to the presented methodology, this documents presents a case study of the project of a technical intervention, developed in HRV Elétrica, to five automatic weight dosing machines existing in a feed industry in Portugal. These dosing machines will be included in metrological control to ensure reliability in weighing.

*Keywords: (Feed mill, weighing instruments, metrological control, automatic weight dosing machines)*



## Lista de figuras

---

Figura 1.1 - Valor de vendas das indústrias alimentares (2013 e 2014) [1].	1
Figura 1.2 - Evolução da produção de alimentos compostos das indústrias associadas à IACA.	2
Figura 1.3 - Zona de armazenamento e dosagem.	4
Figura 1.4 - Zona moagem e granulação.	5
Figura 1.5 - Zona do ensaque e granel.	6
Figura 1.6 - Logotipo da HRV Elétrica.	9
Figura 2.1 - Exemplo de uma "even arm balance scale" [5].	12
Figura 2.2 - "Steelyard scale" [5].	13
Figura 2.3 - "Spring Scale" [5].	13
Figura 2.4 - Esquema de uma célula de carga hidráulica [5].	14
Figura 2.5 - Esquema de uma célula de carga pneumática [5].	15
Figura 2.6 - Célula de carga por indução [5].	16
Figura 2.7 - Célula de carga elétrica do tipo compressão [6].	16
Figura 2.8 - Aplicação de uma célula de carga em compressão [5].	17
Figura 2.9 - Célula de carga elétrica do tipo tração [6].	17
Figura 2.10 - Aplicação de uma célula de carga em tensão [5].	18
Figura 2.11 - Célula de carga elétrica do tipo "single point" [6].	18
Figura 2.12 - Célula de carga elétrica do tipo "beam" [6].	19
Figura 2.13 - Princípio de operação de uma pesagem em contínuo [7].	19
Figura 2.14 - Extensômetro de resistência elétrica do "tipo folha" [8].	20
Figura 2.15 - Definição de distensão [8].	21
Figura 2.16 - Corte transversal de uma célula do tipo "Strain Gauge" [5].	22
Figura 2.17 - Ponte de Wheatstone [8].	23
Figura 2.18 - Circuito de um quarto de ponte [8].	23
Figura 2.19 - Circuito de meia ponte [8].	24
Figura 2.20 - Circuito de ponte completa [8].	25
Figura 2.21 - Compensação da resistência de condução [8].	26
Figura 2.22 - Complemento de ponte [8].	27
Figura 2.23 - Compensação do erro de percepção remota [8].	28
Figura 2.24 - Transmissor de pesagem [6].	29
Figura 2.25 - Balança manual de bancada [9].	30
Figura 2.26 - Indicador de pesagem [6].	30
Figura 2.27 - Indicador de pesagem contínua [10].	30

Figura 3.1 - Ensacadora industrial [13].	37
Figura 3.2 - Balança doseadora [13].	38
Figura 3.3 - Constituintes do módulo de pesagem [14].	40
Figura 3.4 - Intervalos de medição de uma célula de carga [15].	42
Figura 3.5 - Classificação de uma célula de carga [15].	44
Figura 3.6 - Classes de exatidão [15].	44
Figura 3.7 - Tipos de aplicação de carga [15].	45
Figura 3.8 - Foto de uma célula de carga tipo FTP.	45
Figura 4.1 - Processadores pesagem antigos sem indicação clara de peso.	49
Figura 4.2 - Display mecânico de um instrumento de pesagem descontinuado.	50
Figura 4.3 - Indicador de pesagem Penko 1020 [16].	54
Figura 4.4 - Exemplo da sequência do indicador Penko 1020 [17].	56
Figura 4.5 - Módulo Lógico da Siemens (Logo!).	57
Figura 4.6 - Autômato Simatic S5.	58
Figura 4.7 - Ligações processador DS Europe.	58
Figura 4.8 - Ligações regulador tensão.	59
Figura 4.9 – Excerto do “programa Logo” da doseadora 1.	60
Figura 4.10 – Excerto do “programa Logo” da doseadora 2.	63
Figura 4.11 - Indicador mecânico Chronos.	66
Figura 4.12 – Excerto do “programa Logo” das doseadoras 3 e 4.	67
Figura 4.13 – Excerto do “programa Logo” da doseadora 5.	70
Figura 4.14 - Exemplo de um "boca sacos" [13].	73
Figura 6.1 - Foto do indicador de pesagem acompanhando pela vinheta de verificação legal 2017.	84

## Lista de tabelas

---

Tabela 1.1 - Fabricação nacional de alimentos para animais.....	1
Tabela 1.2 – Instrumentos de Pesagem de Funcionamento Automático.....	3
Tabela 2.1 - Desvio admissível em relação ao enchimento médio [12]. .....	35
Tabela 4.1 - Enchimento do Penko 1020. ....	55
Tabela 4.2 - Fases de enchimento anteriores - doseadora 1. ....	59
Tabela 4.3 - Fases de enchimento atuais – doseadora 1.....	61
Tabela 4.4 - Fases de enchimento e descarga - doseadora 2.....	65
Tabela 4.5 - Fases de enchimento – doseadoras 3, 4 e 5.....	69
Tabela 4.6 - Parâmetros Penko 1020 - Doseadoras 1 e 2. ....	77
Tabela 4.7 - Parâmetros Penko 1020 - Doseadoras 3, 4 e 5. ....	78
Tabela 4.8 - Verificação estática da doseadora 3. ....	80
Tabela 4.9 - Verificação dos enchimentos da doseadora 3.....	81



## Lista de siglas

---

ADC – Conversor Analógico-Digital

DMA – Desvio Máximo Admissível

EMA – Erro Máximo Admissível

FBD – *Function block diagram* (Diagrama de blocos de função)

IACA - Associação Portuguesa dos Industriais de Alimentos Compostos para Animais

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPFA – Instrumentos de Pesagem de Funcionamento Automático

IPFnA – Instrumentos de Pesagem de Funcionamento não Automático

IPQ – Instituto Português da Qualidade

KEBT - *Kinetic Energy Blind Time* (Tempo de Anulação de Pico)

OIML – Organização Internacional de Metrologia Legal

OIML MAA – Acordo de Aceitação Mútua da OIML



# Índice

---

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>XV</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Instrumentos de pesagem	3
1.2 Indústria das rações	4
1.3 Motivação e Objetivos	8
1.4 Organização do documento	10
<b>2 Estado da arte</b>	<b>11</b>
2.1 Definição de peso e massa	11
2.2 Enquadramento histórico e os vários dispositivos de pesagem	11
2.3 Constituição de uma célula carga tipo “strain gauge”	20
2.4 Condicionamento do sinal das células de carga	26
2.5 Processamento e indicação do sinal de pesagem	28
2.6 Controlo metrológico	31
2.6.1 Sistema de certificação da OIML	31
2.6.2 Sistema de certificação em Portugal	32
2.6.3 Requisitos gerais dos IPFA	32
2.6.4 Requisitos das doseadoras ponderais	35
<b>3 Metodologia</b>	<b>37</b>
3.1 Ensacadora com doseadora industrial	37
3.1.1 Balança/doseadora industrial	38
	<b>XV</b>

3.1.2	Principais constituintes de um instrumento de pesagem	39
3.1.3	Principais constituintes de um módulo de pesagem	39
3.1.4	Características das células de carga	41
3.1.4.1	Intervalos, capacidade e termos de saída	41
3.1.4.2	Termos de medição e erro	43
3.1.4.3	Classificação das células de carga	44
3.2	Dimensionamento da balança/doseadora industrial	46
3.2.1	Escolha do conjunto das células de carga	46
3.2.2	Escolha do indicador de pesagem	48
<b>4</b>	<b>Caso de estudo</b>	<b>49</b>
4.1	Enquadramento	49
4.2	Levantamento	50
4.3	Definição dos equipamentos	52
4.4	Implementação	57
4.4.1	Doseadora ponderal 1 (5kg)	57
4.4.1.1	Sistema Anterior	57
4.4.1.2	Nova automatização	60
4.4.2	Doseadora ponderal 2 (5kg)	62
4.4.2.1	Nova automatização	63
4.4.3	Doseadora ponderal 3, 4 e 5 (30kg)	66
4.4.3.1	Nova Automatização	67
4.5	Caracterização, calibração, parametrização e verificação	73
4.5.1	Caracterização das doseadoras ponderais	73
4.5.1.1	Caracterização das doseadoras ponderais 1 e 2	74
4.5.1.2	Caracterização das doseadoras ponderais 3, 4 e 5	74
4.5.2	Calibração dos indicadores de pesagem	75
4.5.3	Parametrização dos indicadores de pesagem e dos Logo!	75
4.5.3.1	Parametrização das doseadoras ponderais 1 e 2	75
4.5.3.2	Parametrização das doseadoras ponderais 3, 4 e 5	78
4.5.4	Verificação das doseadoras ponderais	79
4.5.4.1	Verificação estática	79
4.5.4.2	Verificação do enchimento	80
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>83</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>85</b>
	<b>Anexos</b>	<b>87</b>

Anexo A – Programa Logo! da doseadora 1	89
Anexo B – Programa Logo! da doseadora 2	91
Anexo C – Programa Logo! das doseadoras 3 e 4	93
Anexo D – Programa Logo! da doseadora 5	95
Anexo E – Tabelas de verificação estática	97



# 1 Introdução

A indústria alimentar continua a ser a principal atividade da produção industrial nacional, tendo contribuído em 2014 com 15% do total de vendas [1]. Dentro da indústria alimentar destaca-se entre outras, a fabricação de alimentos para animais que em 2014 contribuiu com cerca de 12,3% dentro do total de vendas da indústria alimentar, o que corresponde a cerca de 1243 mil milhões de euros em vendas e a cerca de 3700 mil toneladas de produto final (Figura 1.1) [1].

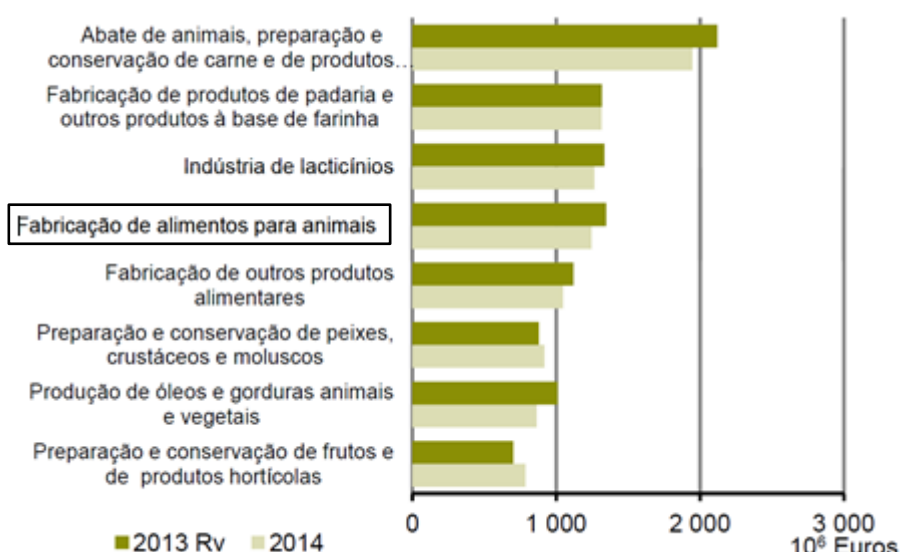


Figura 1.1 - Valor de vendas das indústrias alimentares (2013 e 2014) [1].

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), a fabricação nacional de alimentos para animais nos últimos anos, apesar de algumas oscilações, ronda aproximadamente as 3700 toneladas/ano como se pode confirmar na Tabela 1.1 [1].

Tabela 1.1 - Fabricação nacional de alimentos para animais.

Ano	Produção nacional (toneladas)
2011	3.704.031
2012	3.736.954
2013	3.715.041
2014	3.699.821

Segundo os dados da Figura 1.2, fornecidos pela Associação Portuguesa dos Industriais de Alimentos Compostos para Animais (IACA) que contabiliza apenas a produção das indústrias associadas, pode verificar-se um incremento de 4,8% na produção de alimentos compostos em 2015, sendo que 84% dos associados registaram subidas ou manutenção das respetivas produções face ao ano anterior [2].

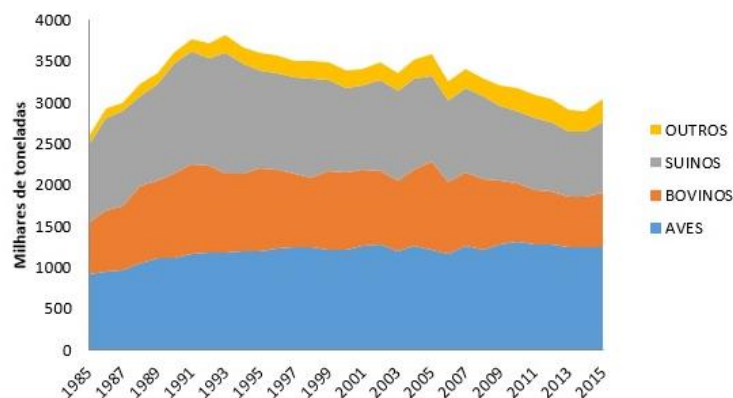


Figura 1.2 - Evolução da produção de alimentos compostos das indústrias associadas à IACA.

De acordo com os dados anteriores, verifica-se o peso significativo que a indústria dos alimentos compostos para animais tem dentro do panorama industrial nacional. Daí a importância de existir uma constante evolução dos sistemas de pesagem industrial dentro dos diversos processos desta indústria de modo a minimizar os erros que podem afetar quer a própria indústria quer os seus clientes. É aqui que começa a fazer sentido falar de controlo metrológico dos instrumentos de pesagem que tem por objetivo garantir a exatidão dos resultados das medições dentro de limites legalmente estabelecidos. Esse controlo efetuado de acordo com padrões legislativos e de qualidade é denominado por metrologia legal. A metrologia legal desempenha assim um papel importante na economia, ao contribuir para o rigor, credibilidade e transparência das medições, seja no comércio, seja em todas as demais aplicações, constituindo um elemento chave no desenvolvimento económico e social do país. Mais à frente irá ser abordado o tema do controlo metrológico e onde se enquadra no âmbito principal deste trabalho [3].

## 1.1 Instrumentos de pesagem

---

Um instrumento de pesagem destina-se a determinar a massa de um corpo por recurso a ação da aceleração da gravidade sobre o mesmo. Existem essencialmente dois tipos de instrumentos de pesagem: Instrumentos de Pesagem de Funcionamento Automático (IPFA) e os Instrumentos de Pesagem de Funcionamento não Automático (IPFnA). Os IPFnA são instrumentos que requerem a intervenção de um operador no decurso do enchimento. Já os IPFA não têm nenhuma intervenção humana durante o enchimento (ver Tabela 1.2).

Tabela 1.2 – Instrumentos de Pesagem de Funcionamento Automático.

Definições	
Instrumento de pesagem de funcionamento automático	Instrumento que determina a massa de um produto sem intervenção de um operador e que segue um programa pré-determinado de processos automáticos característicos do instrumento.
Instrumento de pesagem separador de funcionamento automático	Instrumento de pesagem de funcionamento automático que determina a massa de cargas discretas previamente reunidas, por exemplo, pré-embalagens, ou de cargas individuais de material a granel.
Separador ponderal de controlo	Separador que reparte artigos de massas diferentes em vários subconjuntos em função da diferença entre o valor da massa de cada artigo e um ponto de referência nominal.
Etiquetadora de pesos	Separadora-etiquetadora que etiqueta artigos individuais com o respetivo peso.
Etiquetadora de pesos e preços	Separadora-etiquetadora que etiqueta artigos individuais com o peso e o preço respetivos.
Doseadoras ponderais de funcionamento automático	Instrumento de pesagem de funcionamento automático que enche contentores com uma massa pré-determinada e praticamente constante de um produto a granel.
Totalizador descontínuo	Instrumento de pesagem de funcionamento automático que determina a massa de um produto a granel mediante a divisão do mesmo em cargas descontínuas. Os valores da massa das diversas cargas são determinados sequencialmente e adicionados. Cada carga é seguidamente devolvida ao conjunto.
Totalizador contínuo	Instrumento de pesagem de funcionamento automático para a pesagem em contínuo de um produto apresentado a granel numa correia transportadora, sem subdivisão sistemática do produto e sem interrupção do movimento da correia transportadora.
Ponte-báscula ferroviária	Instrumento de pesagem de funcionamento automático provido de um recetor de carga com carris para a pesagem de veículos ferroviários.

## 1.2 Indústria das rações

A indústria das rações, também denominada indústria dos alimentos compostos para animais baseia-se na exploração de unidades fabris que têm como finalidade adquirir matéria-prima (por exemplo cereais) e processá-la para obter o resultado final que é ração para alimentação animal. O processo pelo qual a matéria-prima ou as matérias-primas têm de passar, depende em parte do tipo de ração que se quer produzir.

### Zona de armazenamento das matérias-primas e dosagem

O processo inicia-se com o transporte de matéria-prima onde o camião à chegada da unidade fabril é pesado inicialmente numa plataforma de pesagem para camiões (báscula), descarregando de seguida a matéria-prima para um fosso de descarga (tegão). Na Figura 1.3, temos a zona de armazenamento e dosagem de uma fábrica de rações, onde o canto superior esquerdo evidencia o camião em posição de descarga para o tegão. Após a descarga, o camião é novamente pesado na báscula e o seu peso em vazio é descontado ao peso em carga para se poder dar entrada em *stock* da quantidade de matéria-prima que foi descarregada.

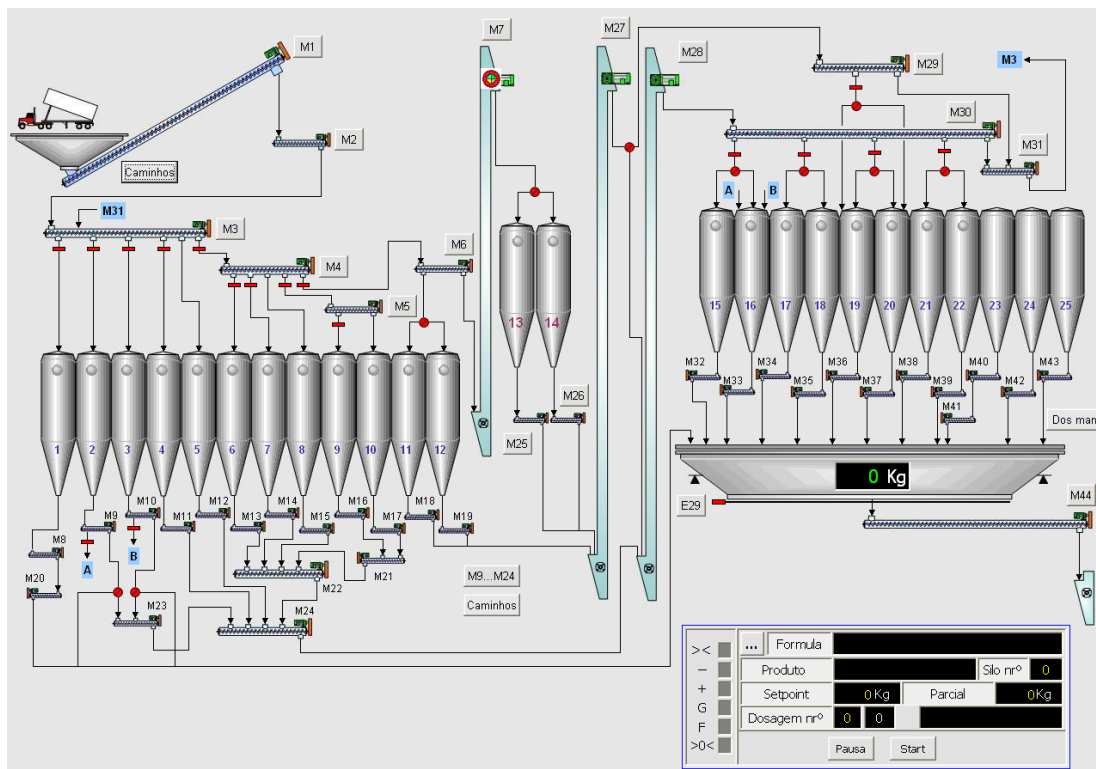


Figura 1.3 - Zona de armazenamento e dosagem.

A matéria-prima descarregada é encaminhada, no caso deste exemplo, por sem-fins motorizados (exemplo M1) e por noras motorizadas (exemplo M7) para os silos

de armazenamento (1 a 25). De seguida entra-se no processo de dosagem. Mediante uma determinada fórmula constituída pelas quantidades das mais diversas matérias-primas, os silos são descarregados sequencialmente de acordo com essa fórmula para uma balança (denominada “balança de dosagem”) que se encontra acima do sem-fim M44. Nessa balança são totalizados os vários constituintes da fórmula escolhida para obter o produto final pretendido. O conjunto dos vários componentes da fórmula denomina-se lote. Uma produção diária numa unidade fabril deste género pode compreender vários lotes doseados, todos da mesma fórmula ou até de fórmulas diferentes. Cada lote pode ir de uma a vinte toneladas de produto.

### Zona de moagem e granulação

Na Figura 1.4 inicia-se a zona de moagem e granulação. O produto doseado anteriormente (lote) é encaminhado para a moagem e com a ajuda de um moinho motorizado (M51) é moído em fragmentos mais pequenos de forma a poder ser utilizado nos processos seguintes.

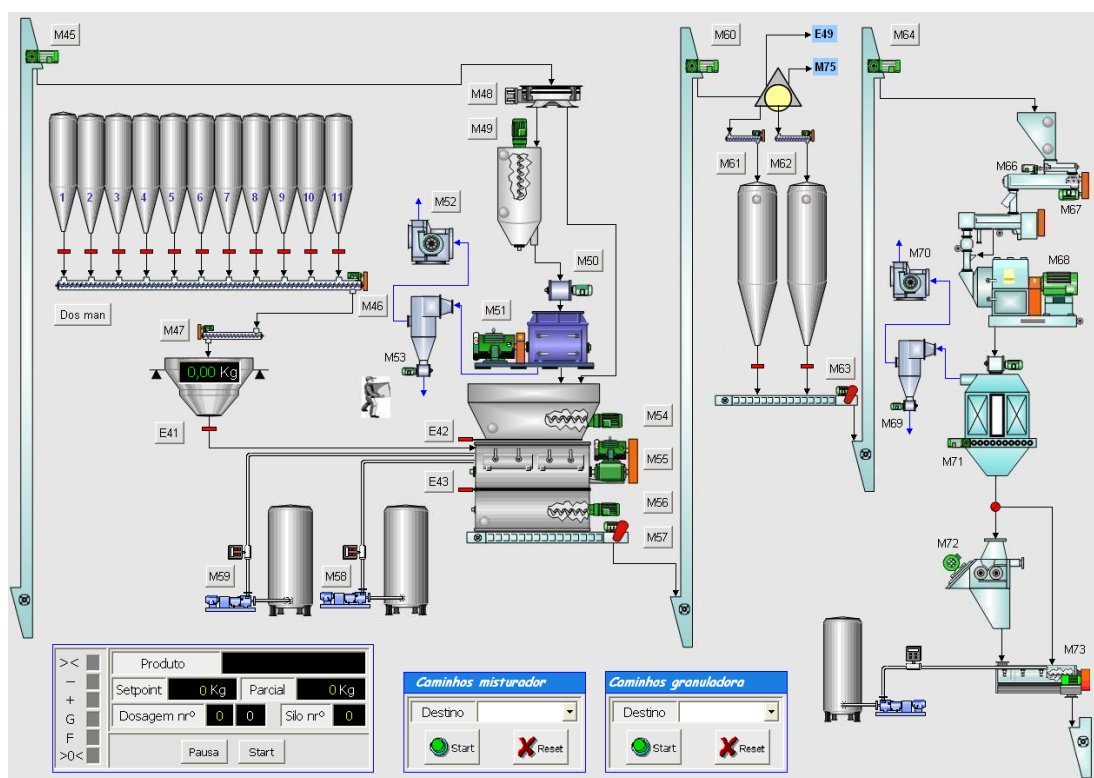


Figura 1.4 - Zona moagem e granulação.

Após o processo de moagem, o lote é encaminhado para o processo de mistura onde é misturado com o auxílio das pás de uma misturadora industrial (M55) de modo a obter a homogeneização do lote. Durante este processo de mistura, pode ainda ser adicionada matéria-prima extra ao lote em mistura. Este processo denomina microdosagem e baseia-se na dosagem de quantidades muito mais pequenas de

matéria-prima (até 10 kg) em relação ao processo de dosagem da Figura 1.3. Esta microdosagem é efetuada numa “balança de microdosagem” (debaixo do sem-fim M47) semelhante à da Figura 1.3, mas com a diferença de ser muito mais pequena. A matéria-prima que aqui é pesada não passa pelo processo de moagem sendo adicionada diretamente na misturadora. Existe ainda o processo de adição manual ao lote na misturadora, onde os operadores fabris fazem adições manuais não superiores a 1 kg (normalmente são as vitaminas e os minerais) que são pesadas com auxílio de uma balança manual. Após o processo de mistura do lote, este é encaminhado para o processo de granulação. Neste processo o lote é acondicionado podendo-lhe ser adicionado vapor, água e outros líquidos. Consecutivamente é granulado através de uma granuladora. Neste exemplo o objetivo da granulação passa por inicialmente fazer um tratamento térmico ao lote para produzir granulado de seguida, no entanto, dependendo do tipo de ração a produzir, podem ser usados combinações de outros processos idênticos ou totalmente diferentes da granulação.

### Zona do granel e ensaque

Na Figura 1.5, inicia-se a zona do ensaque e granel onde o lote, depois do processo de granulação, é encaminhado para os silos de armazenamento do granel e do ensaque e a partir daí passa a denominar-se produto final (ração para alimentação animal).

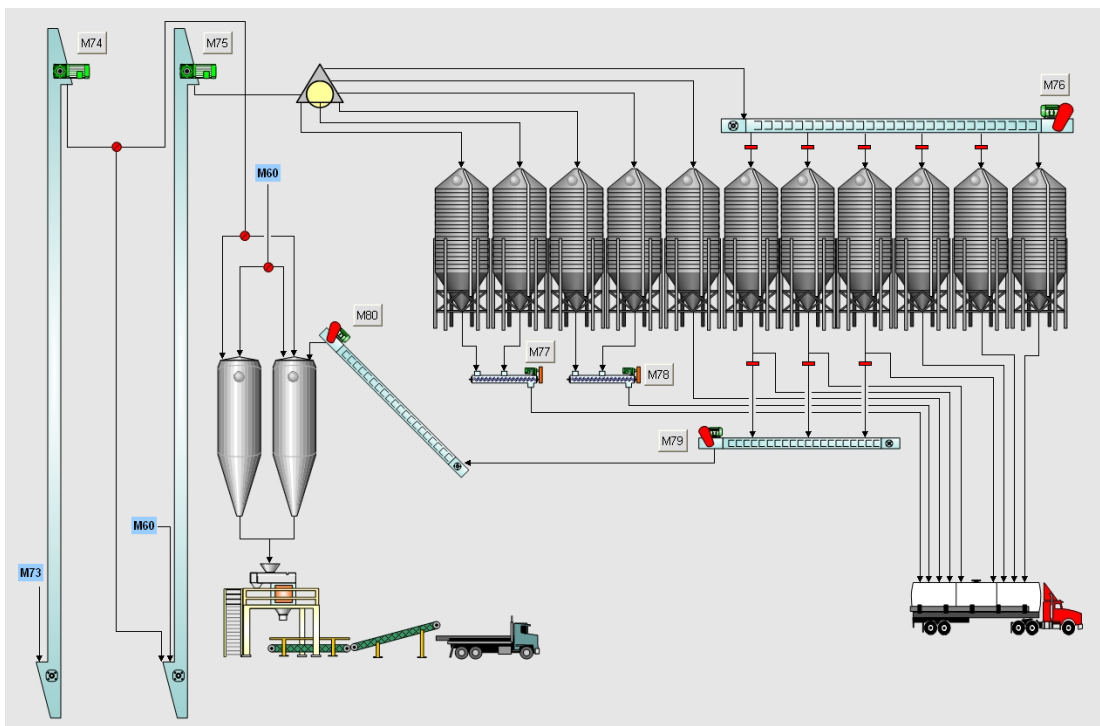


Figura 1.5 - Zona do ensaque e granel.

Os silos de armazenamento do ensaque descarregam o produto final para os dois tipos de linhas de ensaque:

- Ensaque em embalagem grandes na ordem das toneladas (*“Big-Bags”*);
- Ensaque em embalagens pequenas (de 5 kg a 50 kg).

Os silos de armazenamento do granel são silos que estão colocados a uma altura suficiente para que um caminhão se consiga colocar por debaixo de modo a que a descarga do produto final ocorra diretamente para o reboque do caminhão. A pesagem do produto pode ocorrer de três maneiras:

- Através de um sistema de pesagem dos silos;
- Através de uma balança pesante localizada debaixo dos silos;
- Através da balança pesante que também é utilizada para pesar as matérias-primas (implica pesar o caminhão em vazio e depois em carga).

Os equipamentos instalados nas várias zonas de uma unidade fabril de alimentos compostos para animais descritas anteriormente são hoje em dia geridos, controlados e supervisionados com recurso a sistemas de Supervisão, de Controlo e Aquisição de Dados (SCADA) que estão interligados com a faturação, o controlo de *stocks* e a manutenção. As balanças são um desses equipamentos que com estas interligações, permitem fazer o controlo das dosagens e as entradas e saídas nos *stocks*. Em jeito de resumo, uma unidade fabril de alimentos compostos para animais é constituída por balanças consideradas “grandes” que pesam valores na ordem das toneladas e “balanças pequenas” que pesam valores na ordem dos quilos:

- “Balanças grandes” (Básculas, balanças doseadoras e ensaque de *“Big-Bag’s”*);
- “Balanças pequenas” (“Microdosagem” e ensaques de pacotes).

## 1.3 Motivação e Objetivos

---

Para além da indústria das rações representar uma parte importante do setor industrial nacional, europeu e mundial, existe a crescente exigência a nível metrológico nos instrumentos de pesagem desde a aprovação do decreto-lei nº 71 de 2011 (baseado na diretiva da comissão europeia nº 2009/137/CE), que veio com o objetivo de estabelecer regras que defendam os interesses dos consumidores, impedido o favorecimento de alguma das partes envolvidas numa transação mediante a exploração de forma sistemática da eventual tendência dos erros máximos admissíveis na metrologia [4]. Desta forma em termos legislativos, é obrigatório existir um controlo metrológico legal nos instrumentos que sirvam para transações comerciais nomeadamente:

- Linhas de ensaque (“*Big-Bag’s*” e pacotes), onde a venda é feita a partir do peso marcado na embalagem;
- Básculas, onde a venda ou a compra nos casos das matérias-primas é feita a partir da quantidade líquida da carga do camião.

No entanto existem instrumentos, que em termos legislativos, não são obrigados a ter controlo metrológico legal (caso das balanças doseadoras referidas anteriormente) onde é importante existir controlo mesmo que não oficial para assegurar, por exemplo, que num determinado lote de produção, a exatidão das quantidades de matéria-prima seja assegurada não comprometendo a qualidade do produto final.

### **Diferença entre o controlo metrológico legal e uma simples calibração**

O controlo metrológico é um requisito legal que tem por objetivo garantir a exatidão do resultado das medições dentro de limites regulamentares abrangendo instrumentos de medição utilizados nas transações comerciais, operações fiscais, segurança, proteção do ambiente e saúde. Assume um papel determinante na defesa do consumidor e dos cidadãos em geral e na arbitragem de conflitos entre os vários parceiros interessados na medição. A calibração é uma operação voluntária sobre um instrumento de medição não sujeito a controlo regulamentar, que pretende dar resposta a requisitos próprios das instituições, garantindo que cumpre com determinadas especificações técnicas, por exemplo no âmbito dos seus sistemas de qualidade [3].

Com base no que foi referido, a pesagem desempenha um papel fundamental nos processos industriais nomeadamente na indústria das rações. A necessidade da indústria das rações atualizar os equipamentos de pesagem de modo a poderem submetidos a controlo metrológico legal, justifica a razão pela qual o trabalho aqui apresentado se reveste de grande importância. Uma fábrica de rações em Portugal apresentou à

empresa HRV Elétrica, a necessidade de atualizar os equipamentos de pesagem com o intuito de serem submetidos a controlo metrológico. O autor deste trabalho na qualidade de colaborador na área da automação e pesagem industrial da HRV Elétrica, apresenta este projeto realizado. Este trabalho tem como um dos objetivos, introduzir o tema da pesagem industrial numa fábrica de rações e o estado da arte sobre os vários dispositivos de pesagem, fazendo o enquadramento histórico e apresentando os equipamentos que atualmente existem no mercado. Com base nos equipamentos existentes no mercado, nas necessidades e especificações da fábrica de rações, especificando quais os decretos e normas pelos quais os instrumentos de pesagem se devem reger, este trabalho tem como principal objetivo descrever a metodologia utilizada e o caso de estudo desenvolvido que passa pela atualização dos instrumentos de pesagem dessa mesma fábrica de rações.

### **HRV Elétrica**

A HRV Elétrica (Figura 1.6) faz parte do Grupo HRV, sediado na Marinha Grande, e do qual fazem parte mais duas empresas (HRV - Equipamentos de Processo e Veristeel). O Grupo foi criado em 1982 com a denominação de Heleno, Ribeiro e Veríssimo (HRV) e desde então desenvolveu a sua atividade para as linhas de produção de granulados para alimentação animal e para o setor bioenergético desenvolvendo também equipamentos para a produção de “*pellets*”.

A HRV - Equipamentos de Processo é a empresa do Grupo responsável pela componente comercial, contactos com clientes, coordenação dos serviços de manutenção e atividades de Investigação e Desenvolvimento. Devido ao desenvolvimento do seu negócio e à aposta em diversos sectores ao longo dos anos, adquiriu as competências e o *know-how* necessário e desse modo surgiu a oportunidade de produção de estruturas e *software* para as máquinas inseridas nas linhas de produção. Nesse sentido foram criadas as outras duas empresas, a HRV Elétrica e a Veristeel.



Figura 1.6 - Logotipo da HRV Elétrica.

## 1.4 Organização do documento

---

Este documento é composto por cinco capítulos, incluindo o atual (*Introdução*) e está organizado da seguinte forma:

O capítulo 2, *Estado da Arte*, introduz de uma forma geral o enquadramento histórico dos sistemas de pesagem, os vários instrumentos de pesagem existentes e a explicação técnica dos vários constituintes de um instrumento de pesagem. Aborda ainda a legislação europeia e portuguesa para este tipo de instrumentos de forma a consciencializar para a importância do controlo metrológico.

O capítulo 3, *Metodologia*, descreve de uma forma geral um instrumento de pesagem específico (doseadora industrial) que irá ser o alvo do caso de estudo deste trabalho. Descreve não só a constituição de uma doseadora industrial mas também o dimensionamento de acordo com as recomendações europeias para uma doseadora ponderal de funcionamento automático.

O capítulo 4, *Caso de Estudo*, apresenta as alterações efetuadas a doseadoras ponderais de funcionamento automático, indicando todo o processo realizado desde a implementação de novos equipamentos nas doseadoras até à comparação entre o “antes” e “depois” da requalificação das mesmas.

O capítulo 5, *Conclusões*, apresenta as conclusões retiradas durante a elaboração deste documento e durante a implementação do projeto descrito.

## 2 Estado da arte

---

### 2.1 Definição de peso e massa

---

A pesagem de um determinado objeto significa medir a força da gravidade exercida sobre a massa desse objeto num determinado local. A relação que existe entre peso, força e massa é determinada pela seguinte equação:

$$W = mg$$

Onde:

$W$  é o peso [N];

$m$  é a massa [kg];

$g$  é aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>].

Esta expressão é reconhecida pela lei fundamental da gravitação de *Newton* que indica que todos os objetos materiais são atraídos por outros objetos materiais. Ou seja, no caso da Terra, tudo o que esteja sobre ou perto da superfície da Terra é atraído para o centro da Terra. Esta força de atração gravítica é muitas vezes chamada de peso.

Quando se lida com medições de quantidade nas indústrias de processo geralmente a massa é o valor que interessa independentemente da medição. Considera-se assim a aceleração da gravidade constante apesar de variar em pequena quantidade ao longo da superfície da terra.

### 2.2 Enquadramento histórico e os vários dispositivos de pesagem

---

Os dispositivos de pesagem mais antigos que remontam a milhares de anos são do tipo “*mechanical lever*” (alavanca mecânica). Outros não tão antigos mas que remontam a centenas de anos são do tipo “*spring balance*” (equilíbrio de mola). Mais recentemente surgiram os do tipo “*hydraulic load cells*” (células hidráulicas de carga), “*pneumatic load cells*” (células pneumáticas de carga) e as mais utilizadas onde este trabalho incide: “*electric strain gauges*” (células de carga por medição da tensão elétrica) [5].

### “Mechanical lever scales” (Dispositivos de pesagem por alavanca mecânica)

São sistemas bastantes precisos, fiáveis e relativamente económicos de instalar mas são muito caros no que toca à manutenção [5]. A indicação de peso é feita diretamente numa escala, no entanto podem ser equipados com dispositivos de transmissão de sinal.

O dispositivo mais antigo conhecido é o “*even arm balance*” (braço de equilíbrio – ver Figura 2.1) onde o mecanismo se baseia num braço apoiado ao centro e com dois suportes suspensos para colocar massas (uma em cada extremidade). O objetivo é colocar a massa que se pretende pesar numa das extremidades e ir colocando massas padrão de várias gamas de peso na outra extremidade até nivelar o braço. A medição é dada por uma escala com ponteiro que vai indicando o desnível do braço. O peso da massa que se pretende pesar é dado pelo somatório das massas padrão que foram necessárias colocar para equilibrar o braço [5].

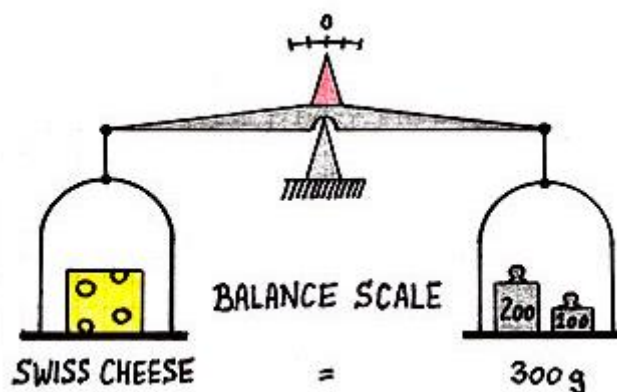


Figura 2.1 - Exemplo de uma “*even arm balance scale*” [5].

Outro dispositivo é o “*steelyard scale*” (ver Figura 2.2) que se baseia numa massa padrão ( $P$ ) que corre ao longo de uma escala que indica o peso conforme a distância ( $CB$ ). O objetivo é colocar a massa a pesar na extremidade oposta da escala ( $W$ ) e fazer correr a massa padrão até nivelar o dispositivo em ( $C$ ). A posição onde para a massa padrão marca o sítio da escala que indica o peso da massa que se pretende pesar ( $W$ ). Trata-se de uma relação de proporcionalidade dada por:

$$W \times (\text{distância } AC) = P \times (\text{distância } CP)$$

Onde:

$W$  é o peso da massa a pesar [kg];

$P$  é o peso da massa padrão [kg].

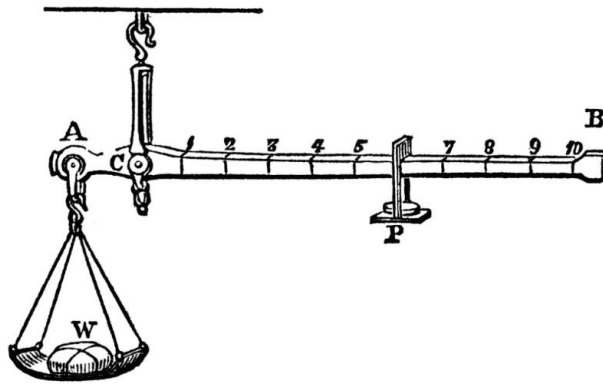


Figura 2.2 - "Steelyard scale" [5].

### **"Spring balance scales" (Dispositivos de pesagem por "equilíbrio de mola")**

Estes dispositivos (ver Figura 2.3) baseiam-se no princípio da deflexão de um elemento elástico, sendo que essa deflexão é diretamente proporcional à força aplicada ao elemento.



Figura 2.3 - "Spring Scale" [5].

Ao ser colocada uma determinada massa pendurada no gancho inferior, por ação da gravidade esta irá provocar deflexão na mola que por si irá fazer deslocar o indicador na escala graduada mostrando o peso. Há que ter em atenção que as molas reagem à temperatura: quando esta aumenta, o comprimento da mola também aumenta e o módulo da elasticidade da mola diminui. Isto provoca um erro no ponto zero e um erro de deflexão por unidade de pesagem. Como tal, estes dispositivos veem normalmente acompanhados por molas de compensação afináveis para corrigir erros derivados das variações de temperatura. Outra limitação deste dispositivo é o fim de escala (limite de elasticidade da mola), que se for ultrapassado, provoca deformação e a partir daí o

dispositivo passa a mostrar erros permanentes devido à mola não conseguir voltar à forma original [5].

### Dispositivos de pesagem com células de carga hidráulicas

As células de carga hidráulicas são construídas de modo a que a massa a ser medida é suportada por um êmbolo, que por sua vez é suportado por um fluido hidráulico confinado numa câmara selada (ver Figura 2.4).

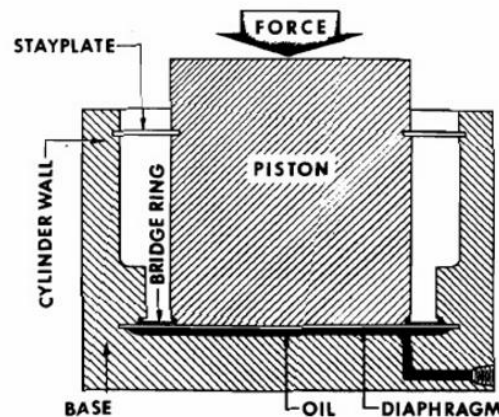


Figura 2.4 - Esquema de uma célula de carga hidráulica [5].

Uma vez que a área do êmbolo é fixa, a pressão hidrostática do fluido é diretamente proporcional à força exercida no êmbolo:

$$P = \frac{F}{A}$$

Onde:

$P$  é a pressão [kg/m<sup>2</sup>];

$F$  é o peso exercido no êmbolo [kg];

$A$  é a área do êmbolo [m<sup>2</sup>].

No entanto para obter o peso da massa a pesar, deve-se identificar o ponto zero do sistema sem ter nenhuma massa em cima do êmbolo de modo a compensar o peso da estrutura de suporte. A pesagem hidrostática pode ser indicada através de uma ligação do sistema a um manómetro com escala graduada ou através de transmissores de pressão que convertem o sinal de pressão em sinal elétrico para poder ser usado por controladores, computadores entre outros dispositivos que façam a aquisição do sinal de pesagem [5].

## Dispositivos de pesagem com células de carga pneumáticas

A célula de carga pneumática (Figura 2.5) trabalha no princípio do equilíbrio de força: a pressão sob a câmara de carga líquida (“*net load*”) é regulada automaticamente para se opor à força colocada na unidade. Um aumento de força no ponto de carga (“*load*”) move o assento do bocal (“*nozzle seat*”) contra o bocal de purga (“*bleed nozzle*”), restringindo o fluxo de ar. A pressão de ar na câmara de carga líquida (“*net load*”) aumenta até que a pressão do ar multiplicada pela área do diafragma seja igual à força aplicada. Através de um transmissor de pressão é possível medir essa pressão e converter o sinal de pressão em sinal elétrico para fazer a aquisição do peso [5].

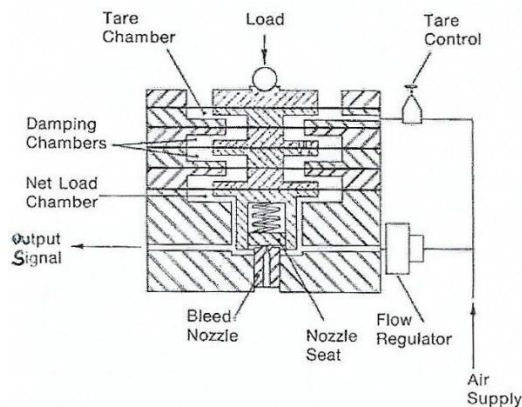


Figura 2.5 - Esquema de uma célula de carga pneumática [5].

## Dispositivos de pesagem com células de carga por indução

A célula de carga por indução é constituída por indutores de ferrite e uma armadura móvel de modo a detetar movimento. Esse mecanismo de deteção de movimento consiste em dois indutores de ferrite, contendo cada um, um único enrolamento e um conjunto de armadura e veio. A extremidade do veio da armadura está em contacto com a cúpula da célula. Quando uma carga é aplicada, a cúpula é deformada ligeiramente e a posição de induzido em relação aos indutores é alterada. Quando as bobinas indutoras são excitadas por uma tensão baixa, a tensão de saída da célula varia de um modo diretamente proporcional com a mudança de posição da armadura. O condicionamento dessa tensão de saída permite obter o sinal de pesagem. Na Figura 2.6, é possível ver os vários constituintes de uma célula de carga por indução (A – Caixa de aço inoxidável, B - Filamentos internos, C – Dois indutores de ferrite, D – Armadura, E – Veio da armadura, F – Diafragma, G – Casquilho, H – Rebordo, I – Placas, J – Encaixe roscado e K – Sela).

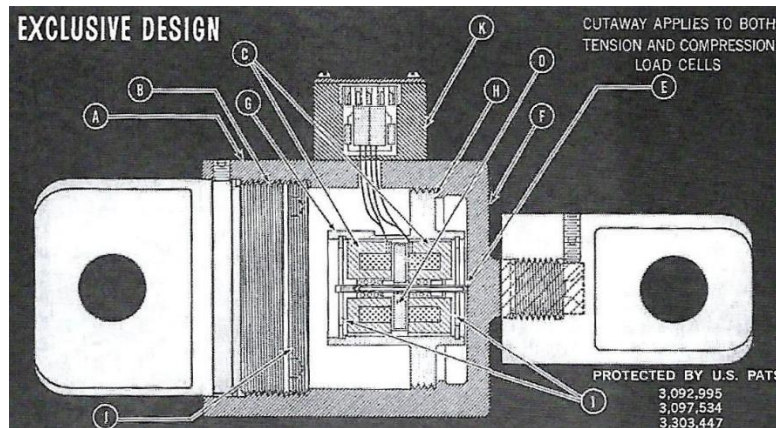


Figura 2.6 - Célula de carga por indução [5].

### Dispositivos de pesagem com células de carga elétricas

A célula de carga elétrica é um transdutor que converte força mecânica em sinais elétricos. Existem muitos tipos com princípios de operação diferentes, no entanto a célula mais comum é a célula do tipo “*strain gauge*” que se baseia em transdutores denominados extensômetros de resistência elétrica (“*strain gauge load*”). Um extensômetro deste tipo tem a capacidade de medir deformações em corpos através da resistência elétrica [5]. O caso de estudo deste trabalho irá incidir em equipamentos que irão usar este tipo de células de carga, sendo que dentro deste tipo de células ainda existem variados subtipos consoante especificações mecânicas adaptadas à aplicação:

#### Tipo compressão

Na Figura 2.7 apresenta-se um exemplo de uma célula de carga elétrica do tipo compressão.



Figura 2.7 - Célula de carga elétrica do tipo compressão [6].

Esta célula é utilizada em aplicações onde o peso é exercido de forma a comprimir a célula contra uma base fixa. Um exemplo desta aplicação são as pesagens em silos e tanques (Figura 2.8).

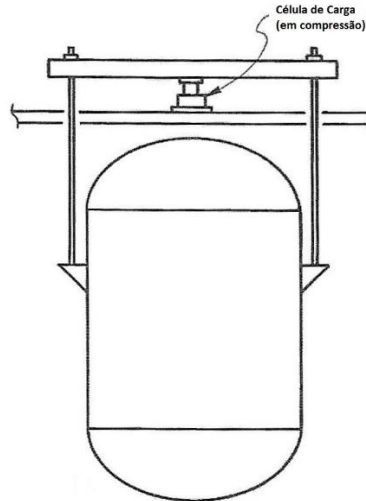


Figura 2.8 - Aplicação de uma célula de carga em compressão [5].

### **Tipo Tensão ou tração**

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 2.9 uma imagem de uma célula de carga elétrica do tipo tração.



Figura 2.9 - Célula de carga elétrica do tipo tração [6].

Estas células são aplicadas sempre que o peso é exercido de forma a distender a célula. Um exemplo desta aplicação (Figura 2.10) são equipamentos que em termos de fisionomia são semelhantes ao equipamento da Figura 2.3 em que a pesagem é efetuada por um gancho que distende a célula conforme o peso exercido.

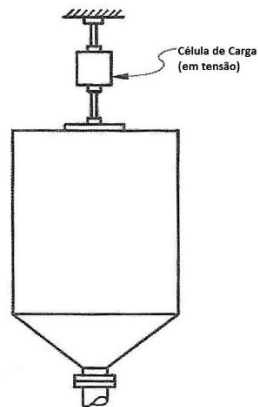


Figura 2.10 - Aplicação de uma célula de carga em tensão [5].

### Tipo “*single point*”

Estas células (Figura 2.11) têm o mesmo princípio que as células de carga do tipo compressão e tensão (dependendo do sentido da aplicação do peso) mas com a diferença de reagirem ao peso apenas num ponto específico, normalmente um dos extremos da célula. São usadas em aplicações onde o peso não é exercido na totalidade da célula mas apenas num dos extremos (pesagens onde a célula está fixa por uma extremidade a uma base imóvel e a outra extremidade está suspensa e recebe o peso exercido pela massa a pesar).



Figura 2.11 - Célula de carga elétrica do tipo “*single point*” [6].

### Tipo “*beam*” ou flexão

As células tipo “*beam*” ou flexão (Figura 2.12) são semelhantes às “*single point*”, na medida em que têm o mesmo princípio que as células do tipo compressão e tensão mas com a particularidade de o seu corpo ser em forma de “fole” e todo ele flete quando é exercido peso numa extremidade e a outra extremidade se encontra fixa a uma base imóvel. Devido à sua boa capacidade de reação ao peso exercido, por serem constituídas por um corpo que flete com bastante sensibilidade são usadas em ensacadoras de pacotes, onde o recipiente de pesagem encontra-se suspenso e pendurado por tirantes fixos às extremidades deste tipo de células.



Figura 2.12 - Célula de carga elétrica do tipo "beam" [6].

### Dispositivos de pesagem em transportadores

Os dispositivos de pesagem referidos anteriormente são usados para pesar tanto líquidos como sólidos, sendo que a pesagem de um determinado lote pode ser efetuada facilmente recorrendo a células de carga (elétricas, pneumáticas ou hidráulicas). No entanto a pesagem contínua da maioria dos fluxos sólidos requer uma abordagem diferente. O método mais comum é aquele que pesa uma secção de uma tela transportadora e utiliza essa medição em conjunto com a velocidade da tela para obter uma medição de peso total e ou de controlo de fluxo. O peso da tela e do material que contém é transmitido para a célula de carga e se a tela estiver a funcionar a uma velocidade contínua, a quantidade total de peso que passa sobre a tela é facilmente pesada por integração. Se a velocidade for variável é utilizado um transmissor de velocidade e o peso total é dado pela integração da multiplicação entre o peso instantâneo e a velocidade instantânea da tela. A grande vantagem deste tipo de pesagem é permitir pesar sem ter de parar o fluxo de material. A Figura 2.13 mostra um exemplo de uma pesagem em contínuo e o seu princípio de operação.

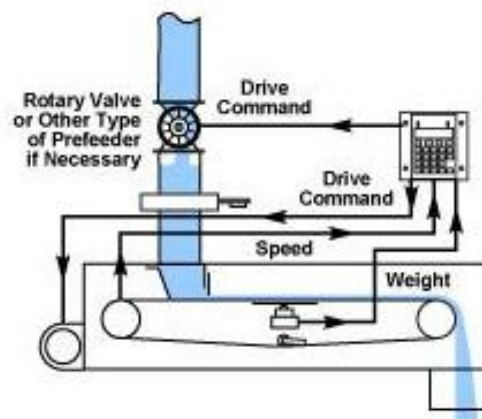


Figura 2.13 - Princípio de operação de uma pesagem em contínuo [7].

## 2.3 Constituição de uma célula carga tipo “strain gauge”

O extensómetro de resistência elétrica tipo folha é formado por dois elementos: a base e a grade (Figura 2.14). Este é utilizado na medição de força devido à sua alta linearidade e baixa impedância. O extensómetro é acoplado no corpo de maneira que a grade fique paralela ao sentido da deformação que deseja-se medir. Traçando uma reta entre os dois terminais, esta deve ficar perpendicular ao sentido da força exercida.

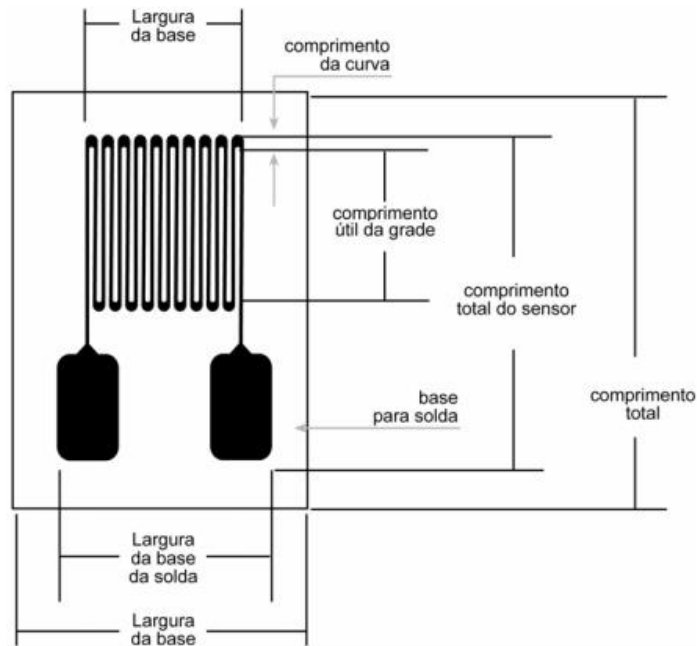


Figura 2.14 - Extensómetro de resistência elétrica do "tipo folha" [8].

Deste modo o extensómetro ao sofrer deformação apresenta distensão ou compressão do fio que forma a grade. Essa característica de distensão positiva ou negativa do material é indicada por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Onde:

$\varepsilon$  é a variável de distensão;

$\Delta L$  é a variação da largura do material [m];

$L$  é a largura inicial do material [m].



Figura 2.15 - Definição de distensão [8].

Quando uma barra é distendida com uma força uniaxial (exemplo da Figura 2.15), um fenómeno conhecido como Tensão de *Poisson* faz o diâmetro da barra de largura “*D*” contrair-se na direção transversal ou perpendicular. A grandeza desta contração transversal é uma propriedade do material, indicada pela sua Razão de *Poisson* (razão negativa da distensão na direção transversal (perpendicular à força) para a distensão na direção axial (paralela à força)):

$$n = \frac{\varepsilon (\text{transversal})}{\varepsilon}$$

Onde:

$\varepsilon$  é a variável de distensão;

$n$  é a razão de *Poisson*.

Quando uma força representada por “*F*” (Figura 2.16) é aplicada na coluna composta pelos extensómetros, essa coluna é comprimida fazendo com que os fios de cada grade dos extensómetros diminuam o seu comprimento e aumentem a sua área transversal. O resultado é a diminuição da resistência elétrica (*R*) em função da força aplicada:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Onde:

*R* é a resistência elétrica do material [ $\Omega$ ];

$\rho$  é a constante de resistividade do material;

*l* é o comprimento do material [m];

*A* é a área transversal do material [m<sup>2</sup>].

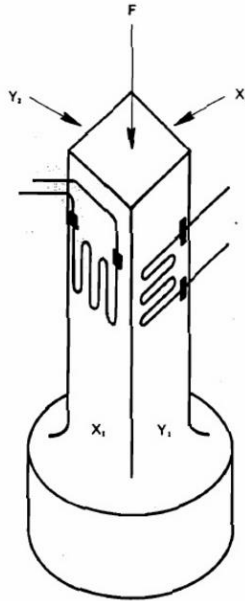


Figura 2.16 - Corte transversal de uma célula do tipo "Strain Gauge" [5].

O parâmetro fundamental do extensômetro é a sua sensibilidade à distensão que é expressada quantitativamente como Fator *Gauge* ( $GF$ ) e é definida como a razão da mudança fracional da resistência elétrica para a mudança fracional no comprimento (distensão):

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

Onde:

$GF$  é a variável Fator *Gauge*;

$R$  é a resistência elétrica inicial do material [ $\Omega$ ];

$\Delta R$  é a variação da resistência elétrica do material [ $\Omega$ ];

$\Delta L$  é a variação do comprimento do material [m];

$L$  é o comprimento inicial do material [m];

$\varepsilon$  é a variável de distensão.

A magnitude de deformação dos extensômetros é pequena e como tal é difícil medir as variações de resistência. Para tal utilizam-se pontes de *Wheatstone* e mede-se a tensão de saída deste circuito (Figura 2.17).

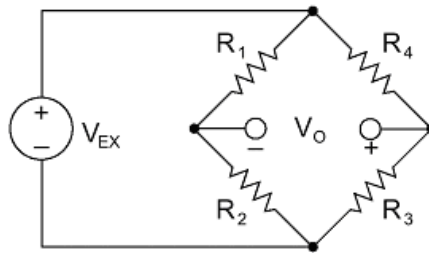


Figura 2.17 - Ponte de *Wheatstone* [8].

$$V_o = \left[ \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \times V_{ex}$$

Onde:

$V_o$  é a tensão de saída da ponte [V];

$R_1, R_2, R_3$  e  $R_4$  são as resistências fixas da ponte [ $\Omega$ ];

$V_{ex}$  é a tensão de excitação da ponte de *Wheatstone* [V].

Desta equação temos que quando  $R_1/R_2 = R_4/R_3$ , a tensão de saída  $V_o$  é zero, ou seja, diz-se que a ponte está equilibrada. Se substituir por exemplo  $R_4$  por um extensómetro  $RG$ , qualquer mudança na resistência do extensómetro desequilibra a ponte e produz uma tensão na saída diferente de zero.

Existem três modos de utilizar extensómetros numa ponte de *Wheatstone*:

1) Circuito um quarto de ponte

Assume-se  $R_1 = R_2 = R_3 = RG$ , e a variação de  $RG$  pode ser reescrita por  $RG \times GF \times \epsilon$ , com base na equação do  $GF$ . Ao reescrever-se a equação da tensão de saída da ponte de *Wheatstone* chega-se à equação da Figura 2.18.

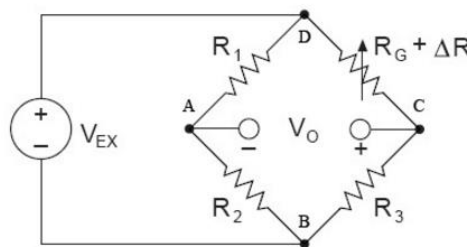


Figura 2.18 - Circuito de um quarto de ponte [8].

$$\frac{V_o}{V_{EX}} = -\frac{(GF \times \epsilon)}{4} \times \left[ \frac{1}{1 + GF \times \frac{\epsilon}{2}} \right]$$

Onde:

$V_o$  é a tensão de saída da ponte de *Wheatstone* [V];

$V_{ex}$  é a tensão de excitação da ponte de *Wheatstone* [V];  
 $GF$  é a variável  $GF$ ;  
 $\varepsilon$  é a variável de distensão;  
 $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são as resistências fixas da ponte [ $\Omega$ ];  
 $R_G$  é a resistência inicial do extensômetro [ $\Omega$ ];  
 $\Delta R$  é variação da resistência do extensômetro [ $\Omega$ ].

## 2) Circuito de meia ponte

A sensibilidade do circuito (Figura 2.19) pode ser aumentada, utilizando dois extensômetros  $R_G$ . A tensão de saída é linear e aproximadamente o dobro da saída do circuito de quarto de ponte.

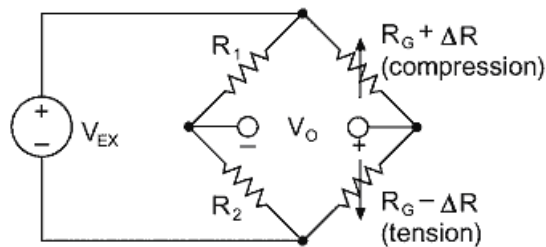


Figura 2.19 - Circuito de meia ponte [8].

$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{(GF \times \varepsilon)}{2}$$

Onde:

$V_O$  é a tensão de saída da ponte de *Wheatstone* [V];  
 $V_{ex}$  é a tensão de excitação da ponte de *Wheatstone* [V];  
 $GF$  é a variável  $GF$ ;  
 $\varepsilon$  é a variável de distensão;  
 $R_1$  e  $R_2$  são as resistências fixas da ponte [ $\Omega$ ];  
 $R_G$  é a resistência inicial do extensômetro [ $\Omega$ ];  
 $\Delta R$  é variação da resistência do extensômetro [ $\Omega$ ].

## 3) Circuito de ponte completa

Pode-se ainda aumentar mais a sensibilidade do circuito colocando extensômetros em todos os braços da ponte de *Wheatstone* (Figura 2.20).

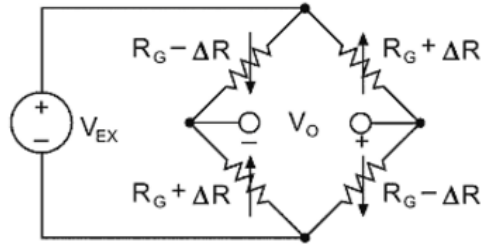


Figura 2.20 - Circuito de ponte completa [8].

$$\frac{V_o}{V_{EX}} = -GF \times \varepsilon$$

Onde:

$V_o$  é a tensão de saída da ponte de *Wheatstone* [V];

$V_{ex}$  é a tensão de excitação da ponte de *Wheatstone* [V];

$GF$  é a variável  $GF$ ;

$\varepsilon$  é a variável de distensão;

$R_G$  é a resistência inicial do extensômetro [ $\Omega$ ];

$\Delta R$  é variação da resistência do extensômetro [ $\Omega$ ].

O desequilíbrio no circuito em ponte de *Wheatstone* produzido pela variação de resistência é assim diretamente proporcional à carga “ $F$ ” (Figura 2.16) aplicada à coluna, proporcionando um sinal de saída linear em relação à carga.

## 2.4 Condicionamento do sinal das células de carga

O condicionamento de sinal das células de carga assegura a exatidão das medições, considerando os seguintes pontos:

### 1) Resistência de condução

Para eliminar os efeitos da resistência de condução é utilizada uma ligação de dois ou três fios com resistências de compensação (“ $RL$ ”) – Figura 2.21.

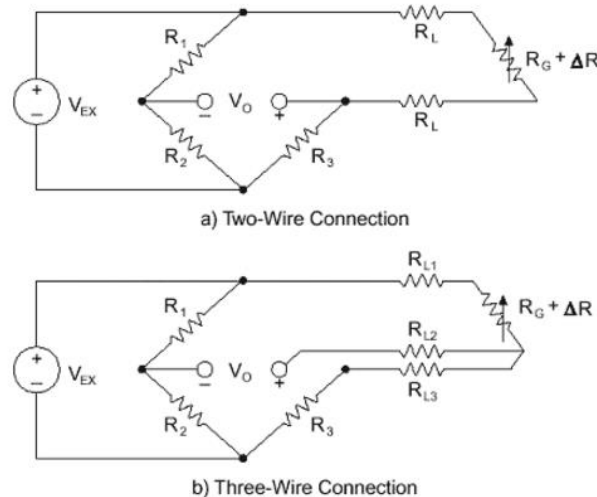


Figura 2.21 - Compensação da resistência de condução [8].

Onde:

$V_0$  é a tensão de saída da ponte de *Wheatstone* [V];

$V_{ex}$  é a tensão de excitação da ponte de *Wheatstone* [V];

$R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são as resistências fixas da ponte [ $\Omega$ ];

$RL1$ ,  $RL2$  e  $RL3$  são as resistências de compensação [ $\Omega$ ];

$R_G$  é a resistência inicial do extensômetro [ $\Omega$ ];

$\Delta R$  é variação da resistência do extensômetro [ $\Omega$ ].

### 2) Complemento de ponte

Caso não se utilize um circuito em ponte completa é necessário complementar a ponte com resistências de referência –  $R_2$  e  $R_3$  (Figura 2.22).

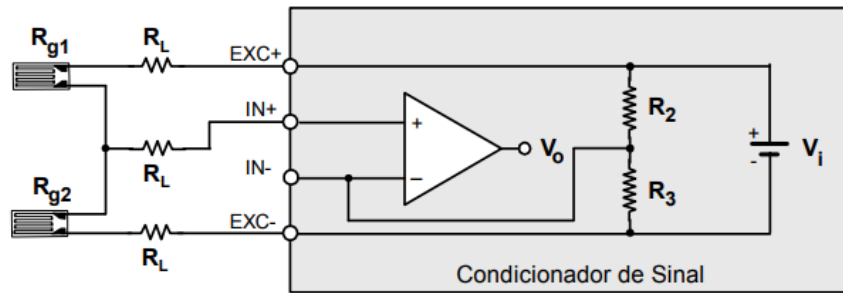


Figura 2.22 - Complemento de ponte [8].

Onde:

$V_o$  é a tensão de saída da ponte de *Wheatstone* [V];

$V_i$  é a tensão de excitação da ponte de *Wheatstone* [V];

$R_{g1}$  é a resistência inicial do extensômetro g1 [ $\Omega$ ];

$R_{g2}$  é a resistência inicial do extensômetro g2 [ $\Omega$ ];

$R_2$  e  $R_3$  são as resistências de complemento de ponte [ $\Omega$ ];

$R_L$  são as resistências de compensação [ $\Omega$ ].

### 3) Excitação

Tipicamente é fornecida uma fonte de tensão constante para alimentar a ponte entre os 3V e os 10V. A excitação normalmente não ultrapassa os 10V de forma a garantir a não existência de erro devido ao auto-aquecimento.

### 4) Percepção remota

Se o circuito da célula de carga está localizado a uma distância longe do condicionador de sinal e da fonte de excitação, um possível erro é a queda de tensão causada pela resistência dos condutores. Deste modo, alguns condicionadores de sinal incluem uma funcionalidade denominada percepção remota de modo a compensar este erro. Os fios condutores extras de percepção (RS+ e RS-) servem para regular a fonte de excitação (EX+ e EX-) através do amplificador de realimentação negativa. Com isto compensa-se as perdas de condução e entrega-se a tensão necessária na ponte (Figura 2.23).

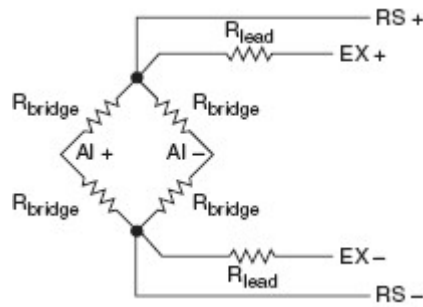


Figura 2.23 - Compensação do erro de percepção remota [8].

#### 5) Amplificação

A saída das células de carga é relativamente pequena. Na maioria das pontes a tensão de saída não ultrapassa os 10 mV/V (10 mV de saída por cada 1V de excitação). Portanto, condicionadores de sinais para células de carga incluem amplificadores para elevar o nível do sinal de modo a aumentar a resolução da medição e melhorar a relação sinal-ruído.

#### 6) Filtragem

As células de carga estão localizadas normalmente em ambientes eletricamente ruidosos e desse modo é essencial que o condicionador de sinal seja provido de filtros passa-baixo de modo a remover o ruído de alta frequência.

#### 7) Compensação de *offset*

Quando não existe distensão nas células de carga é de esperar que a tensão de saída seja zero, no entanto devido a variações na resistência entre os braços da ponte e a resistência de condução faz gerar alguma tensão inicial de *offset* diferente de zero. A compensação desse *offset* pode ser efetuada por software regulando o ganho do amplificador ou por “*Offset-Nulling*” (regulação da tensão de saída para zero, através de uma resistência ajustável – potenciômetro) [8].

## 2.5 Processamento e indicação do sinal de pesagem

Após o condicionamento do sinal das células de carga, o sinal é processado de modo a ficar disponível ao operador do instrumento de pesagem através de um *display* ou mesmo a outros equipamentos externos (por exemplo autômatos programáveis). Normalmente o equipamento que faz o condicionamento do sinal é o mesmo que faz o processamento e denomina-se simplesmente por processador de pesagem ou indicador de pesagem. Entre outras opções, a sua principal função é indicar o peso de um

determinado material que se está a pesar. Existem inúmeras soluções de mercado para este tipo de equipamento: umas mais simples em que o equipamento apenas faz o condicionamento do sinal das células de carga e a respetiva indicação de peso e outras que podem já incluir por exemplo os mais diversos protocolos de comunicação industrial para interagir com outros equipamentos externos.

### **Exemplos de processadores de pesagem existentes no mercado**

#### **Transmissores de pesagem**

São os equipamentos mais simples e que ocupam menos espaço tendo com função apenas fazer o condicionamento de sinal das células de carga e transmiti-lo a um sistema externo. Normalmente são usados em aplicações em que ficam embutidos dentro de uma caixa ou num quadro elétrico. Tem menos parâmetros ajustáveis e podem vir equipados sem *display* ou com o *display* simplificado. Atualmente a maioria já permite diversas opções para transmitir o peso instantâneo: por sinal analógico (exemplo 4 a 20 mA) ou por protocolo de comunicação (*RS485*, *RS232*, *Device Net*, *Profinet*, *Profibus*, *Ethernet TCP/IP*, entre outros). Dentro deste tipo de equipamentos podem-se ainda incluir as cartas de pesagem das diversas soluções de automação que existem no mercado. Essas cartas normalmente não têm *display* e limitam-se a fazer o condicionamento do sinal das células e a transmitir o sinal diretamente ao autómato programável a que estão ligadas (Figura 2.24).



Figura 2.24 - Transmissor de pesagem [6].

#### **Indicadores de pesagem manual**

São equipamentos (ver Figura 2.25) que tem como função indicar o peso instantâneo ao operador sem seguirem nenhuma sequência automática. São usados em balanças manuais como por exemplo as básculas industriais de pesagem ou as balanças de bancada. Equipados com algumas funções básicas de pesagem (exemplo fazer a tara à balança), também permitem comunicação com sistemas externos como por exemplo uma impressora.



Figura 2.25 - Balança manual de bancada [9].

### **Indicadores/controladores de pesagem automática**

São equipamentos (ver Figura 2.26) que para além da função de indicar o peso instantâneo ao operador, permitem ser parametrizados de modo a seguirem uma sequência automática de enchimento. São normalmente utilizados em doseadoras automáticas.



Figura 2.26 - Indicador de pesagem [6].

### **Indicadores/controladores de pesagem contínua**

São equipamentos (ver Figura 2.27) que têm a função de indicar o fluxo de material (kg/h) que está a passar numa determinada tela transportadora de pesagem e totalizam o peso ao longo do tempo.



Figura 2.27 - Indicador de pesagem contínua [10].

## 2.6 Controlo metrológico

---

O controlo metrológico legal é uma disciplina regulamentada pelo Estado destinada a promover a defesa do consumidor e a proporcionar à sociedade a garantia do rigor das medições efetuadas com os instrumentos de medição. Os destinatários deste controlo são os fabricantes e importadores de instrumentos de medição, bem como todos os proprietários e utilizadores desses instrumentos. Abrange um universo nacional superior a quatro milhões de verificações anuais num total de mais de cinquenta milhões de instrumentos de medição instalados [3].

### 2.6.1 Sistema de certificação da OIML

---

O sistema de certificação de instrumentos da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) foi introduzido em 1991, com o objetivo de facilitar os procedimentos administrativos e reduzir custos associados ao comércio internacional de instrumentos de medição sujeitos a requisitos legais. Em 2003 foi introduzido o acordo de aceitação mútua da OIML (OIML MAA) que viria a ser implementado em Janeiro de 2005. Este acordo teve como principal função criar uma ferramenta multilateral a nível mundial de modo a estabelecer um acordo que oferecesse um âmbito mais vasto que simples acordos regionais. Hoje o sistema de certificação OIML é um sistema voluntário para emissão e registo de certificados e de relatórios de avaliação com o principal objetivo de facilitar o trabalho dos órgãos nacionais e regionais que aprovam os vários tipos de instrumentos sujeitos a controlo legal [11]:

- Para as autoridades nacionais de metrologia legal de países onde não existam instalações de ensaio, o sistema de certificados da OIML oferece uma solução viável;
- Para os fabricantes de instrumentos que são obrigados a obter homologação onde os certificados OIML fornecem provas que um determinado tipo de instrumento cumpre os requisitos das recomendações OIML, evitando assim duplicação de ensaios de homologação em diferentes países.

O comité internacional de metrologia legal (CIML) é o órgão de decisão funcional da OIML. Portugal faz parte da lista mundial de países membros da CIML sendo representado pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) [11]:

O IPQ é de acordo com os Decretos-Lei 71/2012 de 21 de Março e o nº80/2014 de 15 de Maio, a instituição nacional de metrologia responsável pela atividade de controlo

metrológico legal em todo o território nacional. O objetivo é garantir a exatidão do resultado das medições dentro de limites legalmente estabelecidos, assumindo um papel determinante na defesa do consumidor e dos cidadãos em geral [4].

### 2.6.2 Sistema de certificação em Portugal

---

O departamento de metrologia do IPQ entre outros serviços tem a metrologia legal à sua responsabilidade. O serviço de metrologia legal elabora legislação metrológica e promove a sua aplicação, aprova modelos de instrumentos de medição, qualifica e acompanha entidades para a realização de operações de controlo metrológico, realizando ações de formação na área de controlo metrológico. A nível nacional, o IPQ qualificou várias entidades estatais e privadas para intervirem na área do controlo metrológico nomeadamente serviços municipais de metrologia, serviços concelhios de metrologia e organismos de verificação metrológica. Em Portugal, existem 39 categorias de instrumentos de medição submetidas ao controlo metrológico [3].

### 2.6.3 Requisitos gerais dos IPFA

---

Em Portugal, o decreto-lei que atualmente define os requisitos essenciais dos instrumentos de medição no âmbito da metrologia legal é o 71/2011 de 16 Junho apoiado pela diretiva 2014/32/UE do parlamento europeu de 26 de fevereiro de 2014. Neste subcapítulo resumem-se os requisitos essenciais para um instrumento de medição. O fabricante deve especificar as condições nominais de funcionamento relativamente: à mensurada (intervalo de medição do instrumento em termos de capacidade máxima e mínima), às grandezas influentes da alimentação elétrica (tensão nominal e limites de tensão), às grandezas influentes do ponto de vista mecânico e climático. Sendo que um instrumento de medição deve proporcionar um elevado nível de proteção metrológica, para que qualquer parte envolvida possa ter confiança no resultado da medição. Deve ser projetado e fabricado tendo em vista um elevado nível de qualidade no que respeita à tecnologia da medição e à segurança dos dados de medição [12].

**Erros admissíveis** – nas condições estipuladas de funcionamento com ou sem ausência de perturbações, o valor do erro da medição não deve exceder o valor máximo admissível estabelecido, salvo indicação em contrário nos requisitos específicos relativos a cada categoria de instrumento. O valor do erro máximo admissível (EMA) é expresso como valor do desvio, por excesso e por defeito, em relação ao valor verdadeiro da

grandeza medida. O fabricante deve ainda especificar os ambientes climáticos, mecânicos eletromagnéticos nos quais está prevista a utilização do instrumento. Os ambientes mecânicos são classificados em três classes distintas (M1, M2 e M3):

M1: aplica-se a instrumentos utilizados em locais com vibrações e choques pouco significativos;

M2: aplica-se a instrumentos utilizados em locais com níveis significativos de vibração e choques;

M3: aplica-se a instrumentos utilizados em locais com níveis elevados de vibração e choque (exemplo: montados diretamente em máquinas ou correias transportadoras).

Quanto aos ambientes eletromagnéticos são classificados de E1, E2 e E3:

E1: instrumentos utilizados em locais com perturbações eletromagnéticas suscetíveis de serem encontradas em edifícios residenciais, comerciais e indústrias ligeiras;

E2: instrumentos utilizados em locais com perturbações eletromagnéticas suscetíveis de serem encontradas em edifícios industriais;

E3: esta classe aplica-se a instrumentos alimentados pela bateria de um veículo. Devem cumprir os requisitos da classe E2 e ainda alguns requisitos adicionais para fazerem face às reduções de tensão nas baterias provocadas pela ligação dos circuitos dos motores de arranque e aos transientes de perda de carga.

**Reprodutibilidade e repetibilidade** – Aplicando a mesma grandeza mensurada, o instrumento deve ter uma estreita concordância entre vários resultados de sucessivas medições, ou seja, a diferença entre resultados deve ser pequena quando comparada com o valor do EMA.

**Discriminação e sensibilidade** – O instrumento de medição deve ser suficientemente sensível e o limiar de mobilidade deve ser suficientemente baixo para a medição planeada.

**Estabilidade** – O instrumento deve ser projetado para conservar uma estabilidade adequada das suas características metrológicas ao longo de um período estimado pelo fabricante, desde que corretamente instalado, mantido e utilizado, em conformidade com as instruções do fabricante.

**Fiabilidade** – O instrumento de medição deve ser projetado para reduzir efeitos de qualquer deficiência que possa causar resultados inexatos, a menos que a presença dessa deficiência seja evidente.

**Adequação** – O instrumento de medição não deve ter qualquer característica suscetível de facilitar a utilização fraudulenta, sendo mínimas as possibilidades de utilização incorreta. Deve ser adequado à utilização que se destina, tendo em conta as condições práticas de funcionamento, não impondo ao utilizador exigências irrazoáveis para a obtenção de um resultado de medição correto. Os valores dos erros de instrumentos que funcionem a caudais ou correntes que excedam valores da gama de medição, não devem ser anormalmente tendenciais. Deve ser ainda insensível a pequenas flutuações do valor da mesurada, ou em alternativa, reagir adequadamente. As funções de medição devem ser controladas depois da colocação no mercado e em serviço. Se necessário, são integrados no instrumento equipamentos especiais ou *software* para efetuar o referido controlo.

**Proteção contra a corrupção** – As características metrológicas de um instrumento de medição não devem ser influenciadas pelo simples facto de lhe ser ligado outro dispositivo ou por qualquer comunicação com outros dispositivos remotos. Devem existir medidas de segurança previstas para permitir comprovar qualquer intervenção. O instrumento de medição deve ainda ser acompanhado das seguintes informações:

- Marca e nome do fabricante;
- Informações sobre a classe de exatidão;
- Informações pertinentes sobre as condições de utilização;
- Capacidade de medição;
- Gama de medição;
- Marcação identificativa;
- Número do certificado do exame CE de tipo ou do certificado de exame do projeto.

## 2.6.4 Requisitos das doseadoras ponderais

---

Este trabalho irá incidir especialmente nas doseadoras ponderais de funcionamento automático que é o tipo de instrumentos que o caso de estudo deste documento aborda.

### Classes de exatidão

O fabricante deve especificar a classe de exatidão de referência Ref (x) assim como a classe de exatidão funcional X(x). Para cada tipo de instrumento é designada uma classe de exatidão de referência correspondente à máxima exatidão possível para os instrumentos desse tipo. Após a instalação são atribuídas a cada instrumento uma ou mais classes de exatidão funcional tendo em conta os produtos concretos a pesar. Quanto maior for o x, que deverá assumir a forma de 1, 2 ou 5, menor será a exatidão funcional do equipamento, ou seja, mais margem de desvio poderá ter [12].

### Erro Máximo Admissível (EMA)

Na pesagem estática em condições nominais de funcionamento, o valor do EMA deve ser igual a 0,312 do Desvio Máximo Admissível (DMA) de cada enchimento em relação à média conforme a Tabela 2.1 [12].

### Desvio em relação ao enchimento médio

Tabela 2.1 - Desvio admissível em relação ao enchimento médio [12].

Valor $m$ da massa dos enchimentos (g)	Desvio máximo admissível de cada enchimento em relação à média para a classe X(1)
$m \leq 50$	7,2 %
$50 < m \leq 100$	3,6 g
$100 < m \leq 200$	3,6 %
$200 < m \leq 300$	7,2 g
$300 < m \leq 500$	2,4 %
$500 < m \leq 1\ 000$	12 g
$1\ 000 < m \leq 10\ 000$	1,2 %
$10\ 000 < m \leq 15\ 000$	120 g
$15\ 000 < m$	0,8 %

Para classe de exatidão X(x) em que x é diferente de 1, os valores do desvio máximo admissível são iguais aos desta tabela multiplicado pelo valor de x.

### **Divisão do *display* do instrumento de pesagem**

Salvo indicação em contrário no anexo específico relativo ao instrumento, o valor da divisão deve ser  $1 \times 10^n$ ,  $2 \times 10^n$  ou  $5 \times 10^n$ , sendo “n” um número inteiro ou zero.

## 3 Metodologia

---

### 3.1 Ensacadora com doseadora industrial

---

Uma ensacadora com doseadora industrial é um equipamento que segue um programa automático, normalmente inserido num autómato programável, que produz determinados enchimentos em série (por exemplo sacos de ração) e gere o enchimento através de uma balança que é um dos constituintes da ensacadora da Figura 3.1.

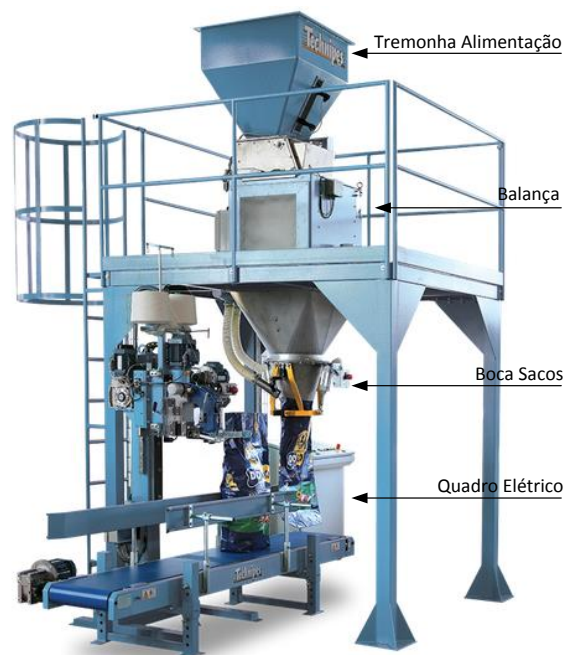


Figura 3.1 - Ensacadora industrial [13].

Na figura anterior temos os seguintes equipamentos principais:

**Tremonha alimentação** – Reservatório de entrada de material para a balança.

**Balança** – Conjunto do balde de pesagem e células de carga, onde é pesado o material.

**“Boca sacos”** – Local onde é colocado o saco para receber uma descarga que foi previamente pesada;

**Quadro elétrico** – Local onde normalmente está instalado o processador de pesagem e o autómato que gere os comandos de toda a máquina.

### 3.1.1 Balança/doseadora industrial

---

A parte da balança/doseadora (subsistema da ensacadora) é um conjunto de equipamentos responsáveis por efetuar pesagens em série de uma forma automática e precisa, de um ou de vários tipos de produtos/lotes. Para isso, este subsistema da ensacadora é constituído por uma estrutura metálica denominada “balde de pesagem”. O balde tem abertura e fecho de duas comportas na sua parte inferior, por onde é descarregado o material para o recipiente/embalagem. Em termos mecânicos o balde é nivelado (paralelo em relação ao sentido da aceleração da gravidade) e apenas é suportado pelas células de carga. No sistema de pesagem igual ao da Figura 3.2, o balde é suportado por duas células de carga que estão depois ligadas eletricamente ao processador/indicador de pesagem.

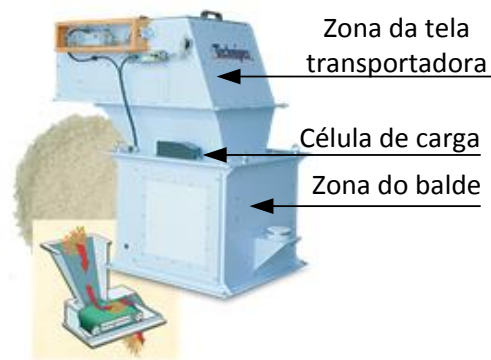


Figura 3.2 - Balança doseadora [13].

O produto é trazido neste caso por uma tela transportadora que é movida por um motor equipado com variador de velocidade ou por um motor de duas velocidades. Para além disso existe uma pala metálica de corte e uma outra pala metálica de redução de caudal. Na fase de carga, as comportas do balde estão fechadas e o indicador de pesagem apenas deteta o peso do balde vazio dando ordem de arranque ao motor numa velocidade rápida definida no variador de frequência. Este enchimento inicial denomina-se grande caudal. Quando o peso chega a um valor objetivo intermédio (objetivo para o enchimento em pequeno caudal), o variador de frequência reduz a velocidade do motor e a pala de redução de caudal baixa em relação à tela reduzindo o fluxo de produto a entrar no balde. Este segundo modo de enchimento denomina-se por pequeno caudal. Quando o peso chega ao valor objetivo para a pesagem (peso alvo), o motor da tela para e a pala de corte baixa imediatamente cortando o fluxo de produto para o balde. Após estabilização do peso, as comportas do balde são abertas, descarregando o produto previamente pesado para dentro do recipiente/embalagem que

foi colocada previamente no “boca-sacos”. Após a descarga, as comportas fecham-se e o ciclo recomeça. A importância de ter dois tipos de enchimento (grande e pequeno caudal) em cada lote tem que ver com a velocidade e a exatidão da doseadora:

- No grande caudal a balança ganha velocidade pois cai um grande fluxo de material no balde;
- No pequeno caudal a balança reduz a velocidade para ter uma fase de acabamento onde a tela consegue parar a tempo no peso alvo com o menor erro possível.

### 3.1.2 Principais constituintes de um instrumento de pesagem

---

A doseadora industrial considera-se um instrumento de pesagem. Um instrumento de pesagem na generalidade é constituído pelos seguintes sistemas:

**Dispositivo recetor da carga** - Parte do instrumento que recebe a carga a pesar;

**Dispositivo transmissor de carga** - Parte do instrumento que transmite para o dispositivo de medição de carga, a força exercida pela carga que atua sobre o recetor de carga (no caso de estudo deste trabalho são as células de carga);

**Dispositivo medidor de carga** - Parte do instrumento que mede a massa da carga através do transmissor de carga (no caso de estudo deste trabalho é o indicador de pesagem).

O conjunto do dispositivo transmissor de carga com o dispositivo medidor de carga denomina-se módulo de pesagem.

### 3.1.3 Principais constituintes de um módulo de pesagem

---

Trata-se de um constituinte do dispositivo medidor de carga que desempenha uma função ou funções específicas podendo ser avaliado separadamente de acordo com os requisitos específicos de metrologia e o desempenho técnico da recomendação correspondente. Os módulos de um instrumento de pesagem estão sujeitos a limites de erro e a várias especificações.

#### **Células de carga**

Geralmente são consideradas células de carga analógicas pois apenas convertem a força exercida em sinal analógico, no entanto quando são equipadas com eletrónica

incluindo amplificador, conversor ADC e dispositivo de processamento de dados (opcional) são chamadas de células de carga digitais [14].

### Indicador de pesagem

Dispositivo eletrônico de um instrumento de pesagem que pode realizar a conversão analógica-digital do sinal analógico de saída da célula de carga e que processa os dados, exibindo o resultado da pesagem em unidades de massa [14].

Na Figura 3.3, é possível identificar os vários constituintes do módulo de pesagem:

- 1- Ligações elétricas e mecânicas entre os vários elementos do módulo;
- 2- Células de carga (convertem a força mecânica exercida sobre as mesmas em sinal analógico);
- 3- Conversor ADC (conversor analógico-digital que converte o sinal analógico das células de carga em sinal digital de modo a ser processado);
- 4- Processamento do sinal digital (o valor do peso medido é escalonado em função do sinal convertido pelo conversor ADC);
- 5- Processamento de dados (processamento de outras variáveis como por exemplo o cálculo do preço em função do peso entre outros parâmetros);
- 6- Interface com o operador (pode ser através do teclado presente no indicador de pesagem onde o operador pode inserir parâmetros como por exemplo o peso objetivo);
- 7- *Display* primário (*display* do indicador de pesagem onde é possível ao operador visualizar o peso atual entre outros parâmetros).

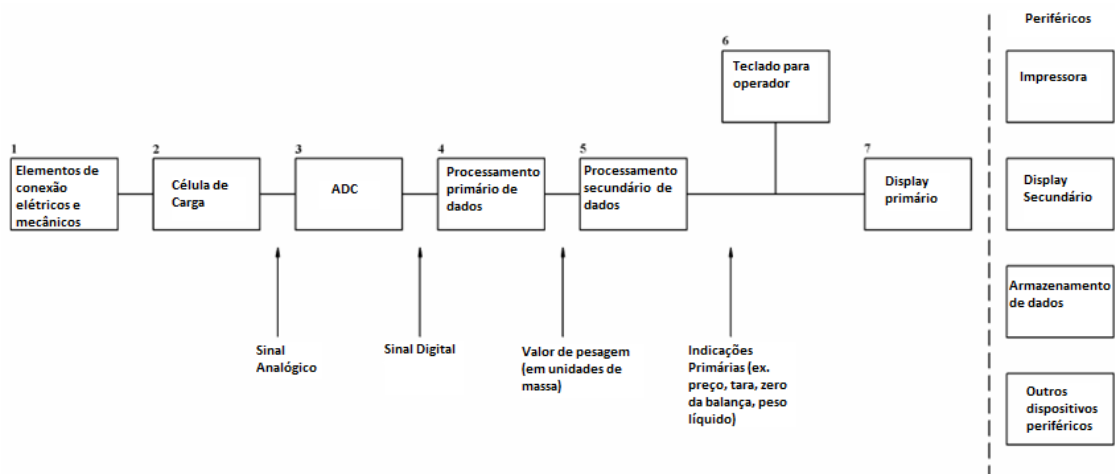


Figura 3.3 - Constituintes do módulo de pesagem [14].

Para além destes 7 constituintes, o módulo de pesagem pode ainda ser constituído pelos módulos periféricos (dispositivo de armazenamento de dados, impressora entre outros).

### 3.1.4 Características das células de carga

---

As células de carga são os constituintes da balança da ensacadora que permitem converter a deflexão mecânica em sinal elétrico para o indicador de pesagem e como tal o dimensionamento das mesmas é de extrema importância para o bom funcionamento da balança. Uma célula de carga é caracterizada por várias especificações que podem ser consultadas na recomendação internacional R60 da OIML [14].

#### 3.1.4.1 Intervalos, capacidade e termos de saída

---

As especificações das células de carga que se podem encontrar na OIML R60 resumem-se a um conjunto de variáveis que caracterizam a célula de carga (Figura 3.4):

**Classe de exatidão** – conjunto de células de carga dentro de uma determinada exatidão;

**Intervalo da célula de carga** - gama de medição das células de carga em que o intervalo de medição é dividido;

**Intervalo de medição da célula de carga** - intervalo de valores da quantidade medida (massa) dentro do qual o resultado da medição não é afetado por um erro superior ao EMA;

**Saída da célula de carga** – sinal elétrico mensurável na qual uma célula de carga converte a quantidade medida (massa);

**Capacidade máxima ( $E_{max}$ )** - maior valor de uma quantidade (massa) que pode ser aplicada na célula de carga sem exceder o EMA;

**Capacidade mínima ou “carga morta” ( $E_{min}$ )** – trata-se do menor valor da célula de carga sem exceder o EMA referente à situação de “carga morta” (sem carga aplicada);

**Varição no retorno da saída da célula de carga na “carga morta” (DR)** – variação medida na saída da célula de carga quando não é aplicada nenhuma carga (“carga morta”), e depois da aplicação da carga quando voltar à “carga morta”;

**DR relativo ou Z** - Relação da capacidade máxima ( $E_{max}$ ) duas vezes DR. Esta proporção é usada para descrever instrumentos de intervalo múltiplo;

**Vmin relativo ou Y** - Relação da capacidade máxima ( $E_{max}$ ), ao mínimo intervalo de verificação da célula de carga ( $V_{min}$ ). Esta proporção indica a resolução da célula de carga independente da capacidade da célula de carga;

**Máxima capacidade do intervalo de medição ( $D_{max}$ )** - valor máximo de uma quantidade (massa) que deve ser aplicada à célula de carga. Este valor deve ser inferior a  $E_{max}$ ;

**Mínima capacidade do intervalo de medição ( $D_{min}$ )** - valor mínimo de uma quantidade (massa) que deve ser aplicada à célula de carga. Este valor deve ser superior a  $E_{min}$ ;

**Intervalo de verificação da célula de carga ( $v$ )** - intervalo das células de carga, expresso em unidades de massa, usado no teste da célula de carga para a classificação de exatidão;

**Intervalo mínimo de verificação das células de carga ( $v_{min}$ )** - menor intervalo de verificação da célula de carga (massa) em que o intervalo de medição da célula de carga pode ser dividido;

**Número de intervalos de verificação da célula de carga ( $n$ )** - número de intervalos de verificação da célula de carga em que o intervalo de medição da célula de carga é dividido;

**Número máximo de intervalos de verificação da célula de carga ( $n_{max}$ )** - número máximo de intervalos pelo qual o intervalo de medição da célula de carga pode ser dividido, sem o resultado ser afetado pelo EMA;

**Limite de carga ( $E_{lim}$ )** - Carga máxima que pode ser aplicada sem produzir uma mudança permanente nas características de desempenho além das especificadas.

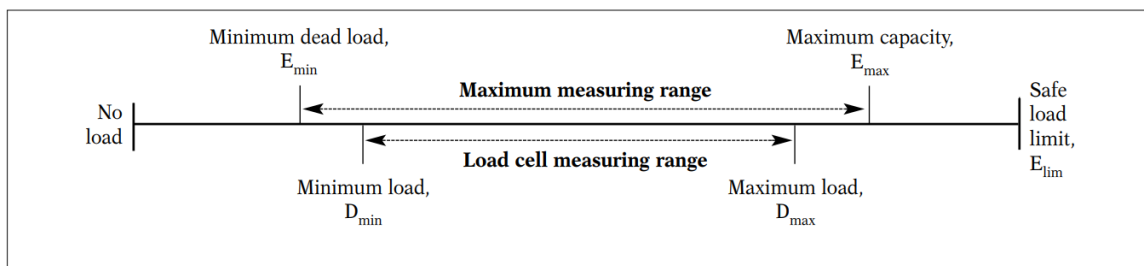


Figura 3.4 - Intervalos de medição de uma célula de carga [15].

### 3.1.4.2 Termos de medição e erro

---

Para além do conjunto de variáveis que caracterizam a célula de carga, a OIML R60 ainda aborda os termos de medição erro que caracterizaram a célula de carga nos ensaios do fabricante:

**Creep** – Consiste na variação ao longo do tempo da deformação da célula de carga;

**Erro máximo admissível (EMA)** – Erro máximo admissível pela recomendação internacional R60 da OIML;

**Não linearidade** – Desvio da curva do sinal crescente de saída da célula de carga em relação à uma linha recta;

**Repetibilidade** - Capacidade da célula de carga para fornecer resultados iguais quando a mesma carga é aplicada várias vezes e da mesma maneira sob condições de ensaio constantes;

**Erro de repetibilidade** - Diferença entre as leituras de saída da célula de carga em ensaios consecutivos sob as mesmas condições de carga e de medição;

**Sensibilidade** - Mudança na resposta (saída) de uma célula de carga a um estímulo (carga aplicada).

### 3.1.4.3 Classificação das células de carga

As células de carga veem identificadas por uma sequência de letras, símbolos e números (ver Figura 3.5) que a classificam quanto às diferentes especificações.

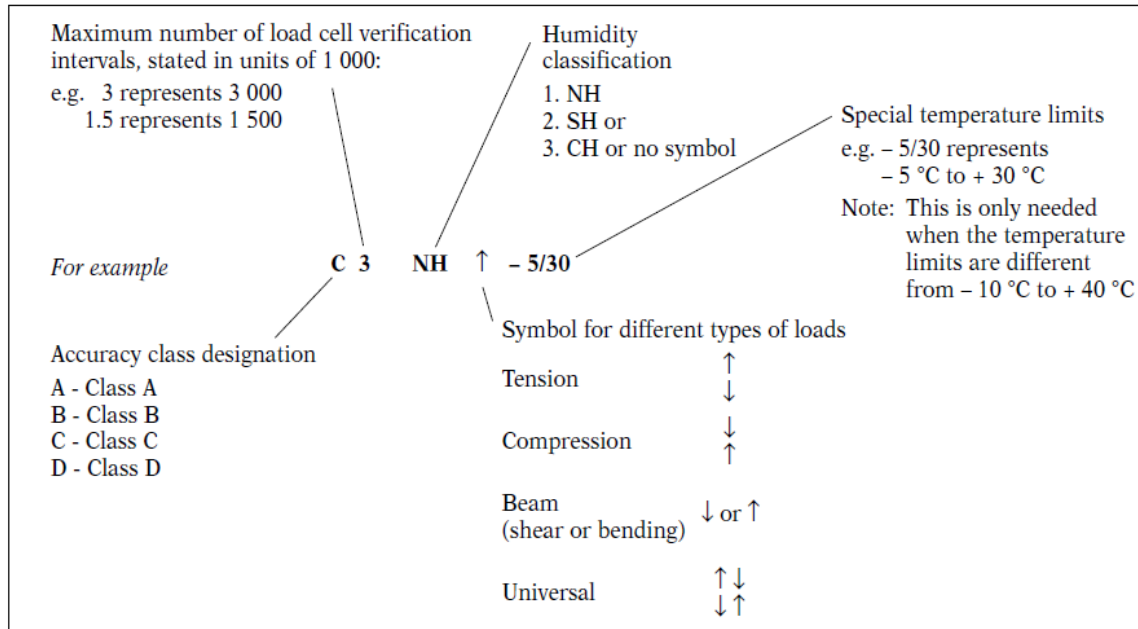


Figura 3.5 - Classificação de uma célula de carga [15].

A primeira letra acompanhada por um número, refere-se à classe de exatidão do número máximo de intervalos de verificação (nmax). Existem quatro classes possíveis (A, B, C e D – ver Figura 3.6). Por exemplo uma classe C3 significa no máximo 3000 intervalos de verificação, enquanto uma classe C1.5 significa no máximo 1500 intervalos de verificação.

	Class A	Class B	Class C	Class D
Lower limit	50 000	5 000	500	100
Upper limit	Unlimited	100 000	10 000	1 000

Figura 3.6 - Classes de exatidão [15]

A segunda sequência de letras simboliza as condições de humidade sob as quais a célula de carga foi testada. Quando a célula de carga não é submetida a ensaios de humidade tem a marcação NH, sendo que para além disso existem dois tipos de ensaios de humidade previstos na recomendação R60 da OIML: quando a célula é submetida a um dos ensaios não tem marcação ou tem marcação CH e quando é submetida ao outro

ensaio tem a marcação SH. Outra marcação (Figura 3.7) identifica o modelo da célula de carga em relação ao sentido da aplicação da carga (tração, compressão, flexão e universal).

Tension	↑ ↓
Compression	↓ ↑
Beam (shear or bending)	↑ or ↓
Universal	↑↓ ↓↑

Figura 3.7 - Tipos de aplicação de carga [15].

A última marcação referente à Figura 3.5 (-5/30) identifica a faixa de temperatura de trabalho em graus celsius (neste exemplo entre -5°C e 30°C) onde a célula de carga pode operar sem que a temperatura influencie as suas características de bom funcionamento. Na Figura 3.8 é possível ver um exemplo real de uma célula de carga do tipo FTP da *Laumas Elettronica*:



Figura 3.8 - Foto de uma célula de carga tipo FTP.

Onde:

- 1 – Indicação da aplicação correta da célula de carga, evidenciando o sentido da aplicação da carga;
- 2 – Identificação da célula de carga e das suas características principais (marca, número de série, modelo, nº do certificado, Emax, classe de exatidão e código de cores para as ligações elétricas);
- 3 – Marcações (nº de série, Emax, modelo e a marcação das condições de humidade SH).

## 3.2 Dimensionamento da balança/doseadora industrial

---

Numa remodelação ou na produção de uma doseadora industrial é importante dar atenção especial à escolha das células de carga e do indicador de pesagem para se obter um correto dimensionamento garantindo as recomendações metrológicas.

### 3.2.1 Escolha do conjunto das células de carga

---

A nível mecânico, entre outros dispositivos que constituem a balança doseadora, dimensiona-se o recipiente que recebe o produto a pesar (vulgarmente chamado de “balde de pesagem”). Esse balde que fica suportado pelas células de carga é dimensionado tendo em atenção um conjunto de parâmetros para além do peso e do material com que é construído (ferro, aço entre outros):

- Alcance máximo da balança (o peso máximo que se pretende pesar na balança);
- A exatidão da balança (a divisão mínima de peso que se pretende obter no *display* que não deve ser superior a 0,312 do DMA [12]);
- Número de células de carga escolhidas e o seu tipo;
- Densidade mínima do produto a pesar (para calcular o volume máximo).

Embora as células de carga possam ver a sua capacidade ultrapassada até ao limite de carga (em alguns casos 150% da sua carga nominal), em aplicações dinâmicas deve ser tido em conta uma tolerância muito maior de modo a garantir que impactos internos e externos à pesagem não danifiquem as células de carga. O valor normalmente utilizado é 70%, ou seja, o peso máximo suportado pelas células de carga (soma do alcance máximo da balança com o peso o balde de pesagem sem produto) não deve ultrapassar 70% da sua carga nominal. O balde de pesagem deve ter ainda o seu centro de massa completamente equilibrado em relação ao sentido de aceleração da gravidade de modo a garantir a linearidade da pesagem, sendo que este ponto influencia o número das células de carga a utilizar (conjunto de uma, duas, três ou mais células de carga) e o tipo de células de carga a utilizar (tensão, compressão entre outros tipos). Na escolha das células de carga há que ter em conta ainda a exatidão pretendida para a balança: as células de carga mais utilizadas são as de classe C3 que permitem um número certificado pela OIML R60 de intervalos de 3.000 pontos e na maioria dos casos um número máximo de intervalos de 10.000 pontos, ou seja, um sistema de pesagem com uma célula de carga de 100kg de classe C3 permite uma exatidão máxima certificada de aproximadamente 33,33g (100.000g / 3.000) e uma exatidão máxima de 10g (100.000g /

10.000). Na construção do balde há que ter ainda em conta o seu volume interno que deve ser superior ao maior volume de enchimento que possa ocorrer.

### **Exemplo de um problema básico de dimensionamento**

**Problema:** Pretende-se construir uma balança/doseadora para fazer enchimentos automáticos no máximo de 50kg com uma exatidão de 20g. O balde de pesagem na parte inferior tem de ter uma comporta pneumática que abre e fecha de modo a descarregar o produto. Devido a limitações mecânicas não se consegue produzir um balde com peso em vazio inferior a 50kg. Qual poderá ser a melhor solução na escolha do conjunto de células de carga?

**Possíveis soluções:** Como o balde tem uma comporta móvel na sua parte inferior, a solução teria de passar por colocar o conjunto de células de carga na parte superior do balde que ficaria suspenso pelas mesmas (sugere células do tipo flexão). De modo a equilibrar o balde era utilizado duas células de carga (cada uma a suportar os lados opostos). Ao consultar um fabricante de células de carga C3 do tipo flexão, verifica-se que existem várias gamas *standards* de células (50kg, 100kg e 200kg):

- 1) Ao optar pela gama de 50kg obtém-se uma exatidão certificada aproximada de 33,33g (100.000g / 3.000) e uma exatidão máxima de 10g (100.000g / 10.000), aqui o balde para cumprir uma margem de segurança de 30%, teria de pesar no máximo:

*Peso máximo recomendado do balde*

$$\begin{aligned} &= (\text{total nominal das células} \times 0,7) \\ &- \text{alcance máximo da balança} \\ &= (50 + 50) \times 0,7 - 50 = 70 - 50 = \mathbf{30 \text{ kg}} \end{aligned}$$

- 2) Ao optar pela gama de 100kg obtém-se uma exatidão certificada aproximada de 66,67g (200.000g / 3.000) e uma exatidão máxima de 20g (200.000g / 10.000), aqui o balde para cumprir a margem de segurança de 30%, teria de pesar no máximo:

*Peso máximo recomendado do balde*

$$\begin{aligned} &= (\text{total nominal das células} \times 0,7) \\ &- \text{alcance máximo da balança} \\ &= (100 + 100) \times 0,7 - 50 = 200 - 50 = \mathbf{150 \text{ kg}} \end{aligned}$$

- 3) Ao optar pela gama de 200kg obtém-se uma exatidão certificada aproximada de 133,33g (400.000g / 3.000) e uma exatidão máxima de 40g (400.000g / 10.000),

aqui o balde para cumprir a margem de segurança de 30%, teria de pesar no máximo:

*Peso máximo recomendado do balde*

$$= (\text{total nominal das células} \times 0,7)$$

– *alcance máximo da balança*

$$= (200 + 200) \times 0,7 - 50 = 70 - 50 = \mathbf{350 \text{ kg}}$$

Dentro destas gamas a melhor solução em termos de exatidão seria a opção 1 mas como não é possível neste problema construir um balde abaixo dos 50kg ter-se-ia de ir para a opção 2 que mesmo assim cumpre com a exatidão pretendida (20g).

### 3.2.2 Escolha do indicador de pesagem

---

O indicador de pesagem deve ser escolhido com base nas características que estão de acordo com as necessidades da aplicação para a qual vai ser aplicado e de acordo com as recomendações da OIML:

- Classes de exatidão permitidas pelo indicador de pesagem (ex. XIII);
- Número de intervalos de verificação igual ou superior aos das células de carga a utilizar (ex.  $\leq 10.000$ );
- Tensão de excitação compatível com as células de carga a utilizar (ex. 5 Vdc);
- Intervalo de verificação mínimo (ex.  $0,4 \mu\text{V}$ );
- Máxima tensão de entrada compatível com o sinal de leitura das células de carga (ex. 20mV);
- Conexão entre o indicador e as células de carga (ex. 4 ou 6 fios – sinal analógico de tensão);
- Velocidade de conversão analógica/digital que equivale ao número de leituras por segundo que o processador consegue fazer a partir do sinal analógico das células de carga (ex. 1600/s);
- Interface com o exterior - entradas e saídas analógicas ou digitais, comunicação via protocolo de comunicação (*Ethernet*, *RS485* entre outros).
- Proteção e vedação no acesso a determinados parâmetros que podem alterar o resultado final da pesagem;
- Cumprimento dos vários requisitos técnicos recomendados pela OIML (recomendação OIML R76).

## 4 Caso de estudo

---

### 4.1 Enquadramento

---

Uma fábrica de rações em Portugal, tem instalada na sua zona de ensaque, cinco ensacadoras com sistemas de pesagem automáticos em funcionamento à vários anos (alguns desde 1990). Estes sistemas classificados como doseadoras ponderais automáticas foram submetidas em 2016 a uma verificação legal de controlo metrológico no qual foram considerados “não conformes” para continuar em funcionamento. As razões de “não conformidade” apontadas pelos auditores responsáveis pelo controlo metrológico para as cinco doseadoras ponderais foram:

- Instabilidade e erro no ensaio estático com as massas calibradas;
- Impossibilidade de calibração do instrumento com massas calibradas;
- Algumas células de carga avariadas;
- Pesagens com erros superiores aos admissíveis;
- Alguns instrumentos (Figura 4.1) não tinham uma indicação clara ao operador do peso instantâneo.



Figura 4.1 - Processadores pesagem antigos sem indicação clara de peso.

Devido às razões apontadas anteriormente e uma vez que a maioria dos equipamentos não podiam ser atualizados por se encontrarem descontinuados (Figura 4.2) no mercado e em elevado estado de degradação, decidiu-se avançar para a troca dos módulos de pesagem (células de carga e indicadores de pesagem) mantendo a estrutura envolvente ao módulo de pesagem (quadro elétrico, tremonha alimentação e balde de pesagem).



Figura 4.2 - *Display* mecânico de um instrumento de pesagem descontinuado.

## 4.2 Levantamento

---

De seguida foi efetuado um levantamento de informação no local para dar início às alterações.

### **Doseadoras ponderais 1 e 2 (5kg)**

- Dois baldes de pesagem independentes;
- Cada balde tem uma comporta na parte inferior, pelo que o balde é suportado pelos dois apoios existentes na parte superior das laterais (sugere a utilização de duas células de carga do tipo flexão);
- Cada balde vazio pesa cerca de 15kg;
- Enchimentos pretendidos: 5kg, no máximo 10kg;
- Divisão pretendida: 10g (abaixo dos 0,312 do DMA para um enchimento de 5kg:  $0,312 \times [1,2\% \text{ de } 5\text{kg}] = 18,72\text{g}$ );
- A máquina efetuava um enchimento de 5kg em cerca de 10 segundos, incluindo a descarga, pelo que pretende se manter pelo menos essa velocidade.

### **Doseadoras ponderais 3 e 4 (30kg)**

- Um balde de pesagem;
- O balde tem uma comporta na parte inferior, pelo que o balde é suportado pelos dois apoios existentes na parte superior das laterais (sugere a utilização de duas células de carga do tipo flexão);
- Cada balde vazio pesa cerca de 40kg;
- Enchimentos pretendidos: 30kg, no máximo 50kg;
- Divisão pretendida: 20g (abaixo dos 0,312 do DMA para um enchimento de 30kg:  $0,312 \times [1,2\% \text{ de } 30\text{kg}] = 112,32\text{g}$ );
- A máquina efetuava um enchimento de 30kg em cerca de 12 segundos, incluindo a descarga, pelo que pretende se manter pelo menos essa velocidade.

### **Doseadora ponderal 5 (30kg)**

- Dois baldes de pesagem independentes;
- Cada balde tem uma comporta na parte inferior, pelo que o balde é suportado pelos dois apoios existentes na parte superior das laterais (sugere a utilização de duas células de carga do tipo flexão);
- Cada balde vazio pesa cerca de 40kg;
- Enchimentos pretendidos: 30kg, no máximo 50kg;
- Divisão pretendida: 20g (abaixo dos 0,312 do DMA para um enchimento de 30kg:  $0,312 \times [1,2\% \text{ de } 30\text{kg}] = 112,32\text{g}$ );
- A máquina efetuava um enchimento de 30kg em cerca de 12 segundos, incluindo a descarga, pelo que pretende se manter pelo menos essa velocidade.

## 4.3 Definição dos equipamentos

---

O objetivo passou por colocar o mesmo tipo de equipamentos nas cinco doseadoras ponderais por uma questão de manutenção e gestão de peças de reserva. Como tal estudaram-se as várias soluções existentes no mercado para se optar por indicadores de pesagem e células de carga dentro da mesma marca e modelo. Como cada balde de pesagem corresponde a um instrumento de pesagem independente, nas doseadoras com mais de um balde de pesagem teve-se de optar por dois indicadores de pesagem.

### Escolha das células de carga

As células de carga escolhidas foram as “FCOL” do tipo flexão da *Laumas Elettronica* de classe C3. Este tipo de células de carga foi abordado no capítulo 2 (ver Figura 2.12). Estas células servem as necessidades do projeto uma vez que cumprem os requisitos da recomendação da OIML (R60) para as células de carga e sendo do tipo flexão permitem suportar o balde pela parte superior deixando o suspenso de modo a poder abrir e fechar a comporta de descarga.

Na escolha das células de carga (duas por balde de pesagem), teve-se em conta os 30% de margem de segurança da carga total em relação à carga nominal das células e a exatidão pretendida de acordo com a classe C3, conforme falado no capítulo 3.

### Doseadoras de 5kg

$$\begin{aligned} & \text{Peso nominal das células de carga (doseadoras 5kg)} \\ & = ((\text{total balde vazio} + \text{peso máximo a pesar}) \times 1,3) \\ & = (15 + 10) \times 1,3 = \mathbf{32,5 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Existe uma gama fixa para deste tipo de células de carga (20, 50, 100, 200, 350 e 500 kg) e como tal optou-se por duas células de carga de 20 kg (total de 40kg que são superiores aos 32,5 kg para se ter uma margem de segurança de pelo menos 30%) no caso das doseadoras de 5kg. Quanto à divisão verificou-se que para um sistema de duas células de 20kg de classe C3 (total de 40kg) pode-se ter um intervalo certificado igual ou superior a 15g, o que não cumpre com a divisão pretendida no *display* (10 g).

$$\text{Resolução da célula de carga (nº pontos certificados): } \frac{40000}{3000} \approx 13,33\text{g}$$

Para resolver esta situação poder-se-ia intervir mecanicamente no balde, de modo a reduzir o peso “morto” da estrutura para se conseguir ir para um conjunto de células de gama inferior. Como neste caso não é obrigatório guiar a escolha pelos pontos

certificados, decidiu-se optar pelas duas células de 20kg na mesma pois o máximo de intervalos que a célula de carga permite são 10.000 pontos e deste modo já é garantido ter uma divisão de 10g no *display*.

$$\text{Resolução da célula de carga (nº máximo de pontos): } \frac{40000}{10000} = 4\text{g}$$

### **Doseadoras 30kg**

*Peso nominal das células de carga (doseadoras 30kg)*

$$= ((\text{total balde vazio} + \text{peso máximo a pesar}) \times 1,3)$$

$$= (40 + 50) \times 1,3 = \mathbf{117\text{ kg}}$$

Neste caso optou-se por duas células de carga de 100 kg (total de 200kg que são superiores aos 117 kg para se ter uma margem de segurança de pelo menos 30%) no caso das doseadoras de 30kg. Quanto à exatidão verificou-se que para uma célula de 100 kg classe C3 pode se ter um intervalo certificado superior a 33g, o que não cumpre com a divisão pretendida no *display* (20 g).

$$\text{Resolução da célula de carga (nº de pontos certificados): } \frac{200000}{3000} \approx 66\text{g}$$

Podia-se resolver como na situação anterior, intervindo mecanicamente no balde. No entanto optou-se pelas duas células de 100kg uma vez que o máximo de intervalos que a célula de carga permite são 10.000 pontos e deste modo já é garantido ter uma divisão de 20g no *display*.

$$\text{Resolução da célula de carga (nº máximo de pontos): } \frac{200000}{10000} = 20\text{g}$$

### **Escolha do indicador de pesagem**

O indicador de pesagem escolhido foi o *PENKO 1020* da *PENKO Engineering B.V.* (Figura 4.3). Este equipamento permite compatibilidade com as células de carga escolhidas e com a automação existente de acordo com as seguintes características:

- Classe de exatidão do indicador de pesagem: III ou IIII (divisões desde 0,1g);
- Tensão de excitação de 5V (as células de carga permitem até 18V);
- Intervalos de 2mV/V (Igual à sensibilidade do sinal de saída das células de carga);
- Sensibilidade de 0,4  $\mu\text{V}$  por divisão (Uma célula igual às estudadas neste trabalho, com sensibilidade de 2mV/V ao ser alimentada a 5V – tensão de excitação do indicador, fornece ao indicador de pesagem um sinal máximo de 10 mV na sua carga nominal. A menor divisão elétrica seria portanto 10 mV a dividir

pelo número máximo de pontos da célula – 10.000, ou seja, cerca de 1 $\mu$ V, pelo que se conclui que a sensibilidade deste indicador é suficiente para as células de carga escolhidas);

- Intervalo de impedância entre 1200 $\Omega$  e 43,75 $\Omega$  (este tipo de células de carga tem uma impedância de saída que ronda os 350 $\Omega$ );
- Ligação até 8 células (neste tipo de aplicação os módulos de pesagem serão de 2 células cada);
- Velocidade de conversão analógica/digital até 1600 amostras por segundo. Nesta aplicação o enchimento mais rápido ronda no máximo os 30kg em 10 segundos. O que significa que entra uma divisão (20g) dentro do balde a cada 6,7 milissegundos. No limite o indicador para acompanhar todas as mudanças de divisão teria de ter uma leitura aproximadamente a cada 6 milissegundos. Neste caso ao permitir 1600 conversões por segundo significa que faz uma leitura a cada 0,6 segundos que é mais do que suficiente para esta aplicação;
- Possibilidade de interligação com sistemas externos via entradas e saídas digitais, analógicas e diversos protocolos de comunicação (ex. *Profibus*);
- Para além das características anteriormente anunciadas, este tipo de equipamento está ainda em conformidade com o cumprimento dos vários requisitos técnicos recomendados pela OIML (recomendação OIML R76).



Figura 4.3 - Indicador de pesagem *Penko 1020* [16].

#### **Características de enchimento do indicador de pesagem *Penko 1020***

Quanto às características de enchimento, o indicador *Penko 1020* tem dois parâmetros para controlar as fases de enchimento: “*setpoint*” (peso alvo) e “*turnover*” (subtração do grande caudal ao peso alvo), permitindo três sinais digitais para interligar com o exterior de modo a fazer o controlo do enchimento (grande caudal, pequeno caudal e peso pronto). Na Tabela 4.1, é possível verificar as várias fases pelas quais o indicador passa até atingir o peso alvo.

Tabela 4.1 - Enchimento do *Penko 1020*.

Fases de enchimento	Entrada Digital Enable	Entrada Digital Start	Saída Digital Grande Caudal	Saída Digital Pequeno Caudal	Saída Digital Peso Pronto
0) Parado (permite fazer alterações de parâmetros)	Desligada	Desligada ou Ligada	Desligada	Desligada	Desligada
1) Início da Pesagem	Ligada	Transição para Ligado	Ligada	Ligada	Desligada
2) Peso atual <Grande caudal	Ligada	Ligada ou Desligada	Ligada	Ligada	Desligada
3) Peso atual >Grande Caudal	Ligada	Ligada ou Desligada	Ligada	Desligada	Desligada
4) Peso atual = Peso alvo	Ligada	Ligada ou Desligada	Desligada	Desligada	Ligada

Quando o indicador tem o sinal de entrada digital “*enable*” desligado, é permitido alterar e guardar parâmetros e os sinais de saída para o exterior mantém o estado de desligados (fase 0). Assim que o sinal “*enable*” é ligado, o indicador fica à espera de receber uma transição positiva do sinal “*start*”. Ao receber essa transição positiva, o indicador dá início à pesagem e liga os sinais de saída de grande e pequeno caudal (fase 1). Enquanto o peso for inferior ao grande caudal (subtração do “*turnover*” ao “*setpoint*”), o indicador mantém as saídas de grande e pequeno caudal (fase 2). Assim que o peso ultrapassar o grande caudal, o indicador entra na etapa de pequeno caudal e o sinal de saída “pequeno caudal” é desligado (fase 3). Quando o peso atual for igual ao “*setpoint*”, o sinal de saída “pequeno caudal” também é desligado e após um determinado tempo de estabilização é ligado o sinal de saída “peso pronto” (fase 4). Para reiniciar a pesagem após a descarga, o indicador necessita de voltar a receber uma transição positiva do sinal de “*start*”. Esta sequência pode ser observada na Figura 4.4.

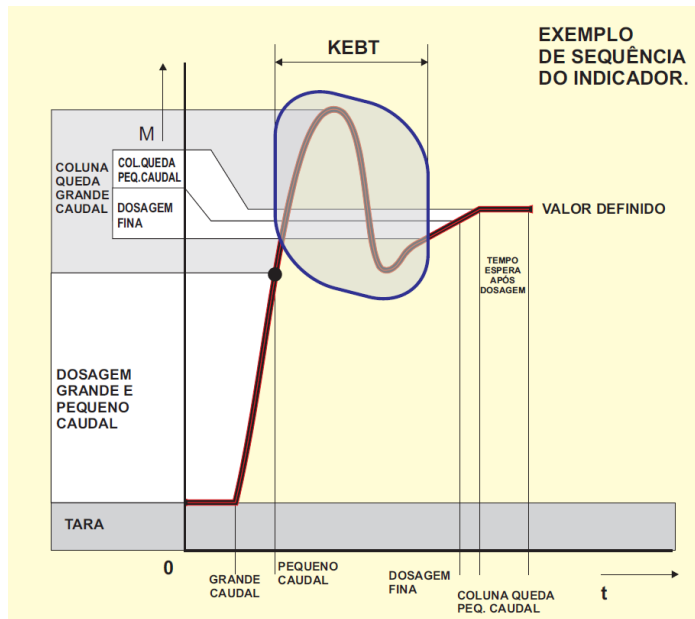


Figura 4.4 - Exemplo da sequência do indicador *Penko 1020* [17].

Para além do “*turnover*” e do “*setpoint*”, o indicador de pesagem tem ainda inúmeros parâmetros de afinação dos quais se destacam os seguintes:

- *Kinetic Energy Blind Time* (KEBT) - Geralmente chamado de tempo de anulação de pico, é um tempo afinável que o indicador inicia quando passa de grande para pequeno caudal. Durante esse tempo, o indicador ignora a leitura de peso para evitar um “falso” peso pronto. Numa doseadora que tenha regulação de caudal com ajuda de um mecanismo pneumático, a passagem de grande para pequeno caudal pode provocar um impacto mecânico, surgindo um pico na leitura das células de carga. O KEBT anula esse pico;
- *Inflight* (Coluna de queda) – Diz respeito à última quantidade de material em voo antes de se atingir o peso alvo. Isto é pouco antes de se atingir o peso alvo, o indicador tem capacidade de parar o pequeno caudal antecipadamente para que a quantidade de produto que ainda venha a cair seja suficiente para atingir o peso alvo dentro de limites satisfatórios;
- Tempo de espera após dosagem – Depois do indicador parar a dosagem, o sinal digital peso pronto só é ligado após o peso estabilizar dentro de uma conjugação de parâmetros (tempo e variação máxima de peso).

## 4.4 Implementação

---

Em todas as situações foi necessário integrar a automatização do(s) módulo(s) de pesagem na automação existente da ensacadora e para isso recorreu-se à instalação de um módulo lógico para efetuar essas interligações - *Logo!* (Figura 4.5).



Figura 4.5 - Módulo Lógico da *Siemens (Logo!)*.

### 4.4.1 Doseadora ponderal 1 (5kg)

---

A doseadora ponderal 1 efetua enchimentos alternados de 5kg em dois “baldes de pesagem”.

#### 4.4.1.1 Sistema Anterior

---

A ensacadora da qual faz parte esta doseadora é constituída por um autómato antigo da *Siemens (Simatic S5 - Figura 4.6)* que faz o controlo da soldagem do saco e da sua expulsão depois do enchimento. A pesagem e o enchimento do produto eram controlados por um dois indicadores de pesagem da *DS Europe* (um por cada balde de pesagem) que interligavam por intermédio de entradas e saídas digitais com o *Simatic S5*. A solução passou por substituir esses indicadores da *DS Europe* por um conjunto de automação dos “baldes de pesagem” constituídos por um *Logo!* e dois indicadores de pesagem *Penko 1020*.



Figura 4.6 - Autômato Simatic S5.

O sistema anterior era constituído pelas ligações entre as células de carga e o indicador de pesagem da *DS Europe* e pelas ligações entre o indicador e a automação da ensacadora (ver Figura 4.7).

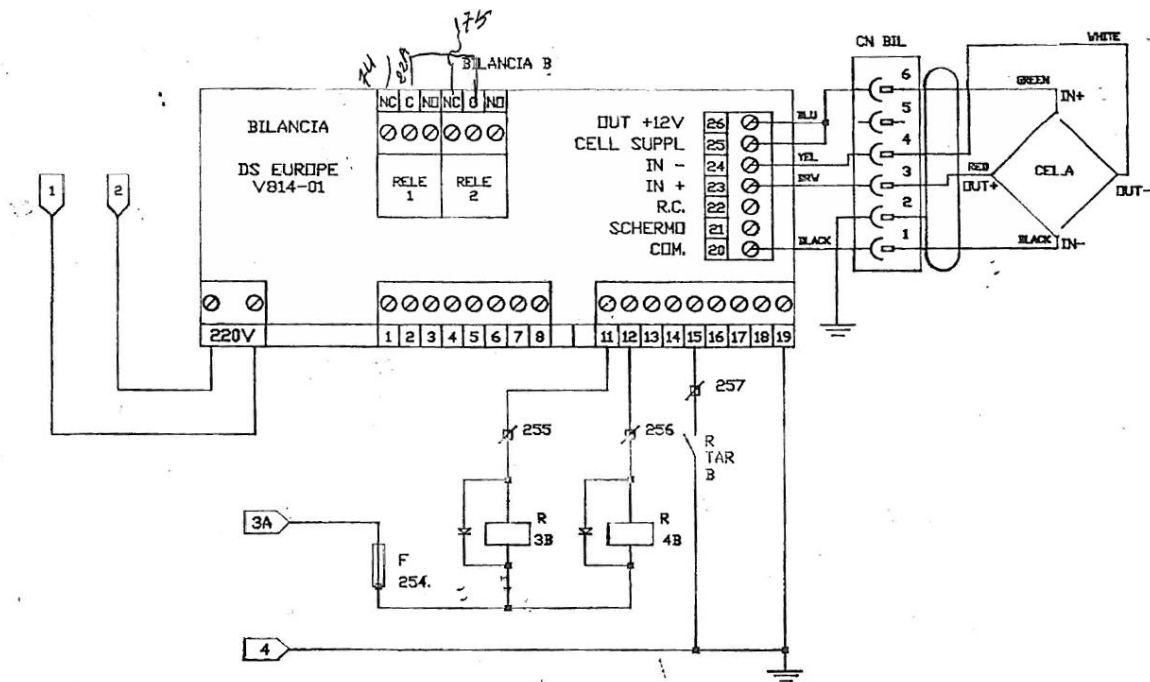


Figura 4.7 - Ligações processador *DS Europe*.

O enchimento dos baldes de pesagem é efetuado através de duas telas de alimentação e de duas calhas vibratórias por onde passa o produto antes de cair no balde. Cada tela e cada calha vibratória que alimentam cada um dos baldes de pesagem controlam o enchimento através da variação de velocidade da tela (movida por um motor de duas velocidades) e pela variação de vibração das calhas (constituídas por eletroímãs, cuja intensidade de vibração varia diretamente proporcional com a tensão de alimentação do eletroímã – de 0 a 220Vac). Tanto a seleção das velocidades das

telas como a intensidade de vibração das calhas são efetuadas através de sinais digitais provenientes do autómato *Simatic S5*, sendo que só existem duas regulações:

- Velocidade rápida ou lenta da tela definida pelas características do motor de duas velocidades;
- Intensidade de vibração alta ou baixa definida por dois potenciômetros que regulam um sinal de controlo (0 - 10Vdc) num regulador de tensão que alimenta o eletroímã (0 - 220Vac) - ver Figura 4.8.

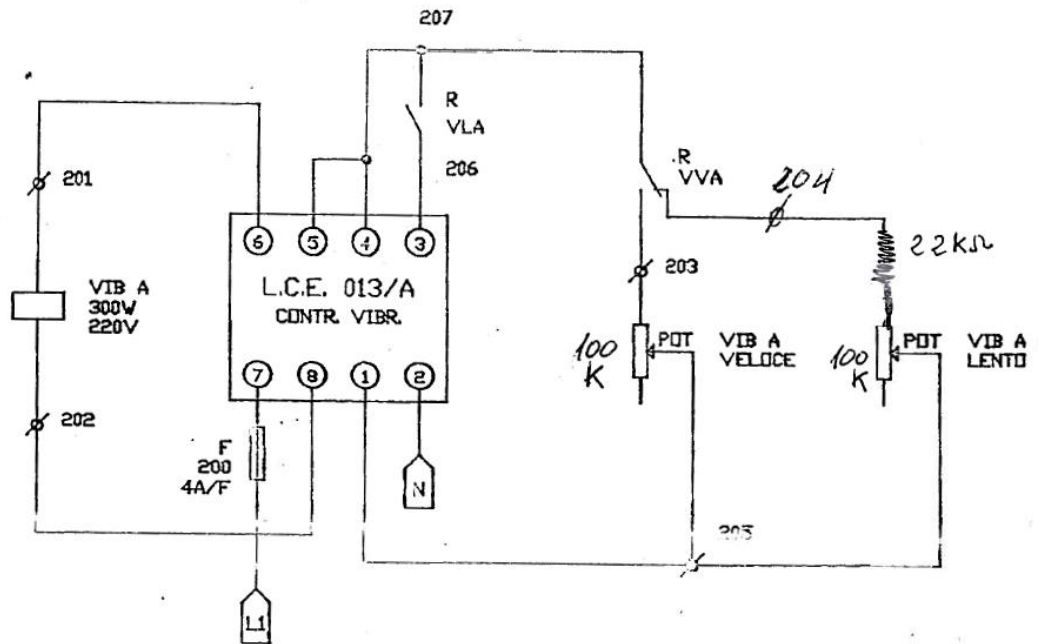


Figura 4.8 - Ligações regulador tensão.

O sistema anterior era constituído por cinco fases de enchimento (ver Tabela 4.2) até atingir o peso alvo, ou seja, nos indicadores antigos era possível regular valores de peso intermédio 1, 2 e 3 antes do peso alvo para se poder ter várias fases de enchimento (peso alvo > peso intermédio 3 > peso intermédio 2 > peso intermédio 1).

Tabela 4.2 - Fases de enchimento anteriores - doseadora 1.

Fases de enchimento	Velocidade tela	Intensidade vibração
1) Peso atual < Peso intermédio 1	Rápida	Alta
2) Peso atual < Peso intermédio 2	Lenta	Alta
3) Peso atual < Peso intermédio 3	Parada	Alta
4) Peso atual < Peso alvo	Parada	Baixa
5) Peso atual = Peso alvo	Parada	Parada

#### 4.4.1.2 Nova automatização

A frequência de amostragem dos indicadores de pesagem *Penko* é cerca de dez vezes superior à dos indicadores antigos e como tal decidiu-se reduzir as fases de enchimento, simplificando o sistema. Deste modo para manter ou melhorar a velocidade de enchimento continuando a atingir pesagens precisas, não é necessário ter as mesmas fases de enchimento. De modo a não fazer alterações no autómato *Simatic S5*, uma vez que não se tinha o projeto de programação devidamente comentado, optou-se por usar um *Logo!* para fazer a interligação entre o indicador *Penko* e o autómato *Simatic S5*. Na Figura 4.9, está um excerto do programa desenvolvido no *Logo!* para esta doseadora em linguagem *Function Block Diagram (FBD)*. No Anexo A – Programa *Logo!* da doseadora 1 está a totalidade do programa do *Logo!*.

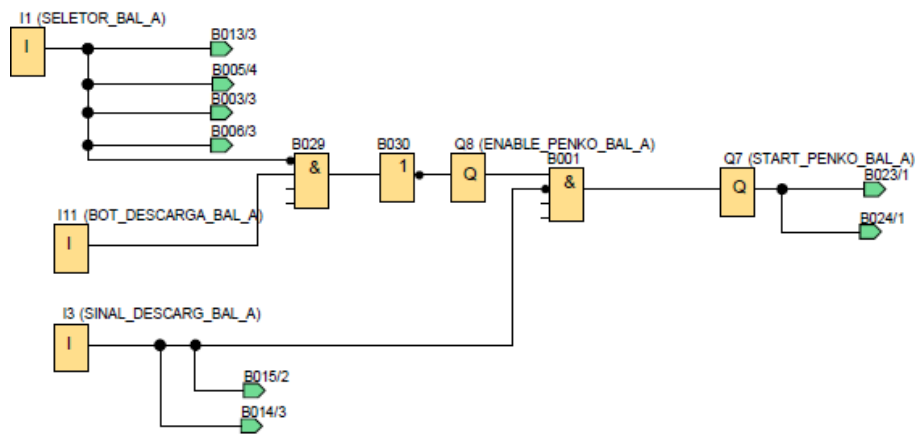


Figura 4.9 – Excerto do “programa *Logo!*” da doseadora 1.

Em termos de entradas e saídas digitais referentes ao *Logo!* da doseadora 2 temos:

##### Entradas digitais:

- I1 – Seletor da balança A (indica se pretende trabalhar com a balança A).
- I2 – Seletor da balança B (indica se pretende trabalhar com a balança B).
- I3 – Sinal de descarga da balança A (indica que o balde da balança A está a descarregar).
- I4 – Sinal de descarga da balança B (indica que o balde da balança B está a descarregar).
- I5 – Grande caudal balança A (sinal de grande caudal do indicador da balança A).
- I6 – Pequeno caudal balança A (sinal de pequeno caudal do indicador da balança A).
- I7 – Peso pronto balança A (sinal de peso pronto do indicador da balança A).
- I8 – Grande caudal balança B (sinal de grande caudal do indicador da balança A).
- I9 – Pequeno caudal balança B (sinal de pequeno caudal do indicador da balança A).

- I10 – Peso pronto balança B (sinal de peso pronto do indicador da balança A).  
 I11 – Botão descarga balança A (autorização da descarga em manual da balança A).  
 I12 – Botão descarga balança B (autorização da descarga em manual da balança B).

**Saídas digitais:**

- Q1 – Tapete Veloz A (sinal autoriza tapete em velocidade rápida da tela da balança A).  
 Q2 – Tapete Lento A (sinal autoriza tapete em velocidade lenta da tela da balança A).  
 Q3 – Vibração Veloz A (sinal que inibe a vibração veloz das calhas da balança A).  
 Q4 – Vibração Lenta A (sinal que inibe a vibração lenta das calhas da balança A).  
 Q5 – Tapete Veloz B (sinal autoriza tapete em velocidade rápida da tela da balança B).  
 Q6 – Tapete Lento B (sinal autoriza tapete em velocidade lenta da tela da balança B).  
 Q7 – *Start Penko* Balança A (sinal “start” do indicador da balança A).  
 Q8 – *Enable Penko* Balança A (sinal “enable” do indicador da balança A).  
 Q9 – *Start Penko* Balança B (sinal “start” do indicador da balança B).  
 Q10 – *Enable Penko* Balança B (sinal “enable” do indicador da balança B).  
 Q11 – Vibração Veloz B (sinal que inibe a vibração veloz das calhas da balança B).  
 Q12 – Vibração Lenta B (sinal que inibe a vibração lenta das calhas da balança B).

O enchimento de cada balde de pesagem (A e B) é feito de acordo com a sequência de saídas digitais do *Logo!* para o autômato *Simatic S5* apresentada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Fases de enchimento atuais – doseadora 1.

Fases de enchimento	Funcionamento	Saída Tapete Veloz	Saída Tapete lento	Saída Vibração rápida	Saída Vibração lenta
1) Peso atual <Grande caudal e tempo de velocidade rápida não atingido	Tapete veloz + Vibração veloz	Ligada	Ligada	Desligada	Desligada
2) Peso atual <Grande caudal e tempo de velocidade rápida atingido	Tapete lento + Vibração veloz	Desligada	Ligada	Desligada	Desligada
3) Peso atual >Grande caudal	Tapete parado + Vibração lenta	Desligada	Desligada	Ligada	Desligada
4) Peso atual = Peso alvo	Tapete parado + Vibração parada	Desligada	Desligada	Ligada	Ligada

O enchimento inicia-se com tapete de alimentação em velocidade rápida e calha de alimentação com vibração rápida durante um tempo parametrizado no *Logo!* (Tempo de velocidade rápida A e B) enquanto o indicador se encontra na etapa de grande caudal (fase 1). Após esse tempo e enquanto o indicador se encontrar na etapa de grande

caudal, o enchimento é feito com tapete em velocidade lenta e calha em vibração rápida (fase 2). Após o indicador passar para a etapa de pequeno caudal (fase 3), o tapete de alimentação para e a calha passa à vibração lenta. Quando o indicador atingir o peso alvo para também a vibração da calha (fase 4). O balde de pesagem é descarregado assim que haja condições da parte do autómato *Simatic S5* e após o indicador entrar em “peso pronto” (após estabilização da pesagem). De modo a conseguir-se efetuar um enchimento mais rápido anulou-se a fase 1, colocando o tempo de velocidade rápida a zero, deste modo este novo sistema passa por apenas três fases de enchimento até chegar ao “peso alvo”, ao contrário do sistema antigo que passava por cinco fases. No caso de o operador querer interromper uma pesagem e descarrega-la em manual, poderá fazê-lo desligando o botão de seleção do respetivo balde de pesagem e efetuado de seguida uma descarga manual recorrendo ao botão de “restos” (descarga manual).

Os reguladores de tensão dos eletroímã dos vibradores A e B já se encontravam em elevado estado de degradação e como tal foi efetuada a sua substituição por reguladores de tensão com o sinal de controlo analógico em corrente (4-20 mA). Como o indicador *Penko 1020* tem a opção de vir equipado com uma saída analógica em corrente, optou-se por anular os potenciômetros de regulação da vibração das calhas e a regulação passou a ser efetuada nos indicadores de pesagem.

#### 4.4.2 Doseadora ponderal 2 (5kg)

---

Esta doseadora ponderal é muito semelhante à doseadora ponderal 1, sendo constituída por um autómato *Simatic S5* que faz o controlo da soldagem do saco e a sua expulsão depois do enchimento. A grande diferença está nos processadores de pesagem que ao contrário dos processadores da *DS Europe*, estes já fazem a gestão entre as duas descargas dos baldes de pesagem e a regulação de tensão que alimenta os eletroímãs das calhas vibratórias. Tanto as fases de enchimento como a alimentação dos baldes de pesagem (telas movidas a motor de duas velocidades e calhas vibratórias com intensidade de vibração regulada) são de funcionalidade semelhante à doseadora ponderal 2.

#### 4.4.2.1 Nova automatização

Como na doseadora ponderal 1, optou-se por simplificar as fases de enchimento de modo a manter ou melhorar a velocidade de enchimento continuando a atingir pesagens precisas. Não fazendo alterações no autómato *Simatic S5*, voltou-se a utilizar um *Logo!* para fazer a interligação entre os indicadores *Penko*, o autómato *Simatic S5* e os sinais de comando da descarga dos dois baldes de pesagem. Na Figura 4.10, está um excerto do programa desenvolvido no *Logo!* para esta doseadora em linguagem FBD. No Anexo B – Programa *Logo!* da doseadora 2 está a totalidade do programa do *Logo!*.

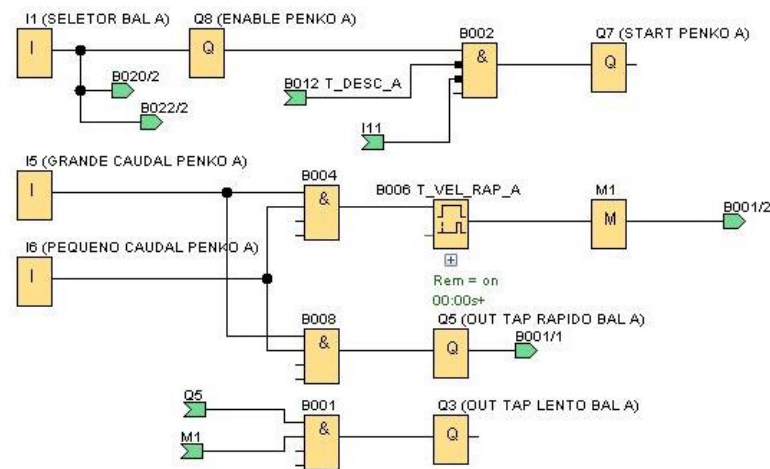


Figura 4.10 – Excerto do “programa Logo” da doseadora 2.

Em termos de entradas e saídas digitais referentes ao *Logo!* da doseadora 2 temos:

##### Entradas digitais

- I1 – Seletor da balança A (indica se pretende trabalhar com a balança A).
- I2 – Seletor da balança B (indica se pretende trabalhar com a balança B).
- I3 – Ordem de descarga da balança A (sinal de autorização para descarga da balança A fornecido pelo autómato *Simatic S5*).
- I4 – Ordem de descarga da balança B (sinal de autorização para descarga da balança B fornecido pelo autómato *Simatic S5*).
- I5 – Grande caudal balança A (sinal de grande caudal do indicador da balança A).
- I6 – Pequeno caudal balança A (sinal de pequeno caudal do indicador da balança A).
- I7 – Peso pronto balança A (sinal de peso pronto do indicador da balança A).
- I8 – Grande caudal balança B (sinal de grande caudal do indicador da balança A).
- I9 – Pequeno caudal balança B (sinal de pequeno caudal do indicador da balança A).
- I10 – Peso pronto balança B (sinal de peso pronto do indicador da balança A).
- I11 – Restos balança A (autorização da descarga em manual da balança A).

I12 – Restos balança B (autorização da descarga em manual da balança B).

### **Saídas digitais**

Q1 – Descarga da balança A (sinal responsável pela atuação da electroválvula de descarga da balança A).

Q2 – Descarga da balança B (sinal responsável pela atuação da electroválvula de descarga da balança B).

Q3 – Tapete Lento A (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade lenta do motor do tapete de alimentação da balança A).

Q4 – Tapete Lento B (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade lenta do motor do tapete de alimentação da balança B).

Q5 – Tapete Rápido A (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade rápida do motor do tapete de alimentação da balança A).

Q6 – Tapete Rápido B (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade rápida do motor do tapete de alimentação da balança B).

Q7 – *Start Penko* Balança A (sinal “*start*” do indicador da balança A).

Q8 – *Enable Penko* Balança A (sinal “*enable*” do indicador da balança A).

Q9 – *Start Penko* Balança B (sinal “*start*” do indicador da balança B).

Q10 – *Enable Penko* Balança B (sinal “*enable*” do indicador da balança B).

De acordo com estas interligações, a doseadora, permite efetuar enchimentos nos dois baldes de pesagem que descarregam alternadamente. O enchimento de cada balde de pesagem (A e B) é feito de acordo de acordo com a sequência de saídas digitais do *Logo!* para o exterior apresentada na Tabela 4.4. Na regulação de tensão para os eletroímã das calhas vibratórias, voltaram-se a instalar novos reguladores de tensão onde a regulação passa a ser efetuada diretamente pelos sinais de saída analógicos em corrente (4-20 mA) disponível nos indicadores de pesagem.

Tabela 4.4 - Fases de enchimento e descarga - doseadora 2.

Fases de enchimento e descarga	Funcionamento	Saída Tapete Rápido	Saída Tapete Lento	Saída Descarga	Saída Start Penko
1) Peso atual <Grande caudal e tempo de velocidade rápida não atingido	Tapete veloz + Vibração veloz	Ligada	Desligada	Desligada	Ligada
2) Peso atual <Grande caudal e tempo de velocidade rápida atingido	Tapete lento + Vibração veloz	Ligada	Ligada	Desligada	Ligada
3) Peso atual >Grande caudal	Tapete parado + Vibração lenta	Desligada	Desligada	Desligada	Ligada
4) Peso atual = Peso alvo	Tapete parado + Vibração parada	Desligada	Desligada	Desligada	Ligada
5) Quando estabiliza a pesagem em peso pronto se houver autorização de descarga, descarrega durante o tempo de descarga	Tapete parado + Vibração parada	Desligada	Desligada	Ligada	Desligada (durante tempo de descarga e tempo de fecho)
6) Após o tempo de descarga, o balde de pesagem e fecha e aguarda um tempo de fecho do balde para reiniciar nova pesagem	Tapete parado + Vibração parada	Desligada	Desligada	Desligada	Ligada (após tempo de fecho)

O enchimento inicia-se com tapete de alimentação em velocidade rápida e calha de alimentação com vibração rápida durante um tempo parametrizado no *Logo!* (Tempo de velocidade rápida A e B) enquanto o indicador se encontrar na etapa de grande caudal (fase 1). Após esse tempo e enquanto o indicador se encontrar na etapa de grande caudal, o enchimento é feito com tapete em velocidade lenta e calha em vibração rápida (fase 2). Após o indicador passar para a etapa de pequeno caudal (fase 3), o tapete de alimentação para e a calha passa à vibração lenta. Quando o indicador atingir o peso alvo, para a vibração da calha (fase 4). Após estabilização na pesagem, o indicador entra em “peso pronto” (fase 5) e assim que receba autorização de descarga do autómato *Simatic S5* (entradas digitais I3 e I4), abre o balde de pesagem, atuando a electroválvula que faz abrir o pneumático das comportas do balde, descarregando deste modo o produto durante um tempo parametrizado no *Logo!* (tempo de descarga balança A e B). Após o tempo de descarga o balde de pesagem fecha e inicia-se um tempo de fecho, também parametrizado, para garantir que o balde tem tempo de fechar (Tempo de fecho

balança A e B). Após o tempo de fecho e caso a balança continue habilitada (entradas digitais I1 e I2) inicia-se uma nova pesagem (fase 6). No caso de o operador querer interromper uma pesagem e descarrega-la em manual, poderá fazê-lo desligando o botão de seleção do respetivo balde de pesagem e efetuado de seguida uma descarga manual recorrendo ao botão de “restos”.

De forma semelhante à doseadora 1, para se conseguir efetuar um enchimento mais rápido anulou-se a fase 1, colocando o tempo de velocidade rápida a zero. Deste modo este novo sistema passa por apenas três fases de enchimento até chegar ao “peso alvo”, ao contrário do sistema antigo que passava por cinco fases.

#### 4.4.3 Doseadora ponderal 3, 4 e 5 (30kg)

---

As doseadoras ponderais 3 e 4 são exatamente iguais, sendo constituídas cada uma por uma balança com indicador de pesagem igual ao da Figura 4.11 e por um balde de pesagem que descarrega para uma ensacadora a jusante caso haja autorização de descarga. Cada doseadora tem a jusante a sua respetiva ensacadora. No caso da doseadora ponderal 5, a única diferença é ser constituída por dois baldes de pesagem que descarregam alternadamente para uma ensacadora cujos sacos são colocados manualmente pelo operador (“boca-sacos”).

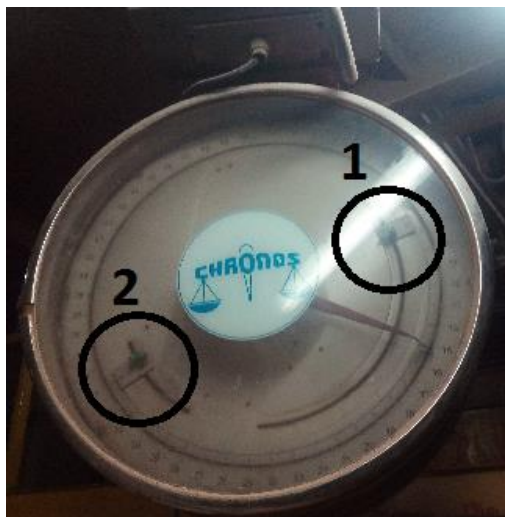


Figura 4.11 - Indicador mecânico *Chronos*.

O controlo de enchimento das doseadoras é efetuado através de dois afinadores mecânicos que se deslocam ao longo da escala graduada do respetivo indicador, como se poder observar na Figura 4.11:

- 1 – Ajuste de mudança de grande caudal para pequeno caudal;

## 2 – Ajuste de peso alvo.

A nível mecânico, as doseadoras são constituídas por um balde de pesagem que recebe o produto a pesar através de um tapete movido por um motor de duas velocidades e por duas palas de ferro atuadas por dois cilindros pneumáticos (pala de corte de caudal e pala de pequeno caudal), sendo o balde de pesagem ainda constituído pela comporta de descarga que é atuada por um terceiro cilindro pneumático. O indicador de pesagem da Figura 4.11 faz a leitura das células de carga, fazendo deslocar mecanicamente o ponteiro ao longo da escala graduada. O ponteiro ao atingir o primeiro afinador mecânico (ajuste de grande/pequeno caudal) ativa o contactor de velocidade lenta fazendo o tapete de alimentação reduzir a velocidade. Para além disso atua também o pneumático da pala de pequeno caudal que baixa em direção ao tapete de alimentação cortando parcialmente o caudal de alimentação, baixando a quantidade de produto que cai no balde de pesagem por unidade de tempo. Mais tarde, o ponteiro ao atingir o segundo afinador mecânico (ajuste de peso alvo) faz parar o tapete de alimentação, atua o pneumático da pala de corte de caudal e atua o pneumático de descarga do balde de pesagem. Deste modo interrompe-se a alimentação ao balde de pesagem e o produto anteriormente pesado é descarregado caso haja autorização a jusante.

### 4.4.3.1 Nova Automatização

Os indicadores antigos da Figura 4.11 não tinham ajuste de coluna de queda, pelo que muitas vezes o peso alvo ajustado não correspondia ao peso real no saco (variações de densidade do produto a pesar). A própria ajuste da descarga não tinha ajuste de tempo criando muita instabilidade nas pesagens.

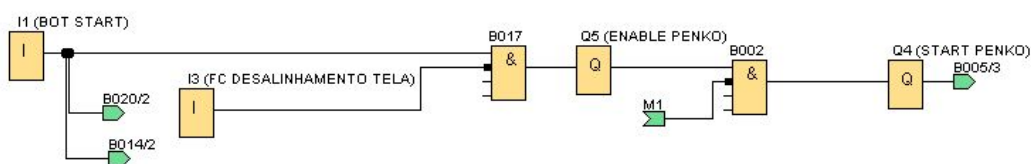


Figura 4.12 – Excerto do “programa Logo” das doseadoras 3 e 4.

Como tal decidiu-se optar pela automatização das doseadoras recorrendo a um *Penko 1020* e a um *Logo!* para fazer a interligações de sinais entre o indicador *Penko* e a ensacadora a jusante. Na Figura 4.12, está um excerto do programa desenvolvido no *Logo!* para as doseadoras 3 e 4 em linguagem FBD. No Anexo C – *Programa Logo! das doseadoras 3 e 4* está a totalidade do programa do *Logo!*. Em termos de entradas e saídas digitais referentes ao *Logo!* das doseadoras 3 e 4 temos:

### **Entradas digitais:**

- I1 – Botão *Start* (sinal do seletor que indica se pretende trabalhar com a balança).
- I2 – Botão de restos (sinal de um botão de impulso que dá ordem para a balança descarregar em manual).
- I3 – Fim de curso de desalinhamento de tela (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a tela do tapete de alimentação está desalinhada).
- I4 – Válvula de corte aberta (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a pala mecânica de corte de caudal está aberta, ou seja, não está a cortar a entrada de produto).
- I5 – Grande caudal (sinal de grande caudal do indicador da balança).
- I6 – Pequeno caudal (sinal de pequeno caudal do indicador da balança).
- I7 – Peso pronto (sinal de peso pronto do indicador da balança).
- I8 – Fim de curso de balde fechado (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a comporta de descarga do balde de pesagem está fechada).
- I9 – Sinal de descarga (sinal elétrico proveniente da ensacadora a jusante que indica que pode receber uma descarga).

### **Saídas digitais:**

- Q1 – Descarga da balança (sinal responsável pela atuação da electroválvula de descarga do balde de pesagem).
- Q2 – Tapete Lento (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade lenta do motor do tapete de alimentação da balança).
- Q3 – Tapete Rápido (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade rápida do motor do tapete de alimentação da balança).
- Q4 – *Start* Penko (sinal “*start*” do indicador da balança).
- Q5 – *Enable* Penko (sinal “*enable*” do indicador da balança).
- Q6 – Descarga Ok (sinal que indica à ensacadora a jusante que foi efetuada uma descarga).
- Q7 – Conta sacos (sinal que faz incrementar um contador externo).

Tabela 4.5 - Fases de enchimento – doseadoras 3, 4 e 5.

Fases de enchimento e descarga	Funcionamento	Saída Tapete Rápido	Saída Tapete Lento	Saída Descarga	Saída Descarga Efetuada	Saída Start Penko
1) Peso atual <Grande caudal	Tapete veloz + pala pequeno caudal aberta + pala corte aberta	Ligada	Desligada	Desligada	Desligada	Ligada
2) Peso atual >Grande caudal	Tapete lento + pala pequeno caudal fechada + pala corte aberta	Ligada	Ligada	Desligada	Desligada	Ligada
3) Peso atual = Peso alvo	Tapete parado + pala pequeno caudal fechada + pala corte fechada	Desligada	Desligada	Desligada	Desligada	Ligada
4) Quando estabiliza a pesagem em peso pronto se houver autorização de descarga, descarrega durante o tempo de descarga	Tapete parado + pala pequeno caudal fechada + pala corte fechada	Desligada	Desligada	Ligada	Desligada	Desligada (durante tempo de descarga e tempo de fecho)
5) Após o tempo de descarga, o balde de pesagem e fecha e aguarda um tempo de fecho do balde para reiniciar nova pesagem	Tapete veloz + pala pequeno caudal aberta + pala corte aberta	Desligada	Desligada	Desligada	Ligada (apenas durante o tempo de fecho)	Ligada (após tempo de fecho)

O enchimento de qualquer um dos baldes de pesagem das três doseadoras (ver Tabela 4.5) inicia-se com tapete de alimentação em velocidade rápida, comportas de descarga fechadas, pala de corte de caudal aberta (posição para deixar passar material) e pala de pequeno caudal também aberta para não fazer corte parcial de caudal (fase 1). Após o indicador passar para a etapa de pequeno caudal, a velocidade do tapete de alimentação passa para lenta e a pala de pequeno caudal fecha, deixando passar menor quantidade de material por unidade de tempo (fase 2). Quando o indicador atingir o peso alvo, o tapete de alimentação para e a pala de corte de caudal fecha, cortando a queda de material para o balde de pesagem (fase 3). Após estabilização no balde de pesagem, o indicador entra em “peso pronto” e assim que haja condições seguintes, a comporta do balde de pesagem é aberta iniciando o tempo de descarga (fase 4). Após o tempo de descarga, é dado o sinal à máquina seguinte (ensacadora ou “boca sacos”) que a descarga ocorreu e a comporta do balde de pesagem fecha, iniciando o tempo de fecho do balde (fase 5). Após o tempo de fecho do balde, inicia-se novo ciclo de pesagem caso a respectiva balança esteja habilitada pelo botão de *start*/seleção. Em termos de

segurança para os equipamentos, foram criadas algumas proteções no tapete de alimentação dos baldes de pesagem em que este só pode trabalhar no caso do sensor que deteta a tela desalinhada do respetivo tapete não estar atuado, o sensor que deteta o balde da respetiva balança fechado encontrar-se atuado e o sensor que deteta a pala de corte aberta encontrar-se também atuado. Para além disso foram ainda criadas saídas digitais externas para contadores de descargas externos (uma por cada balde de pesagem) de modo a haver totalização de embalagens produzidas. No caso de o operador querer interromper uma pesagem e descarregá-la em manual, poderá fazê-lo desligando o botão *Start*/seleção do respetivo balde de pesagem e efetuado de seguida uma descarga manual recorrendo ao botão de “restos” (descarga manual).

Na Figura 4.13, está um excerto do programa desenvolvido no *Logo!* para a doseadora 5 em linguagem FBD que inclui a automatização dos dois baldes de pesagem que constituem a doseadora e neste caso também a automatização do “boca sacos”, uma vez que esta doseadora não tem uma ensacadora automática a jusante mas sim um “boca sacos” onde o operador coloca as embalagens para receber as descargas de uma forma manual.

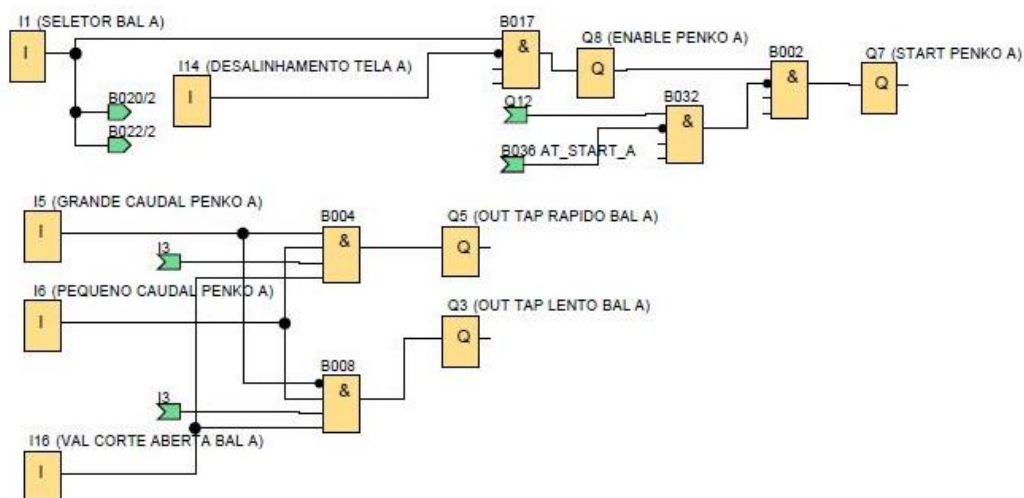


Figura 4.13 – Excerto do “programa Logo” da doseadora 5.

No Anexo D – Programa Logo! da doseadora 5 está a totalidade do programa do Logo!. Em termos de entradas e saídas digitais referentes ao Logo! da doseadora 5 temos:

#### Entradas digitais:

- I1 – Seletor balança A (sinal que indica se pretende trabalhar com a balança A).
- I2 – Seletor balança B (sinal que indica se pretende trabalhar com a balança B).

- I3 – Fim de curso do balde A (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a comporta de descarga do balde de pesagem A está fechada).
- I4 – Fim de curso do balde B (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a comporta de descarga do balde de pesagem B está fechada).
- I5 – Grande caudal A (sinal de grande caudal do indicador da balança A).
- I6 – Pequeno caudal A (sinal de pequeno caudal do indicador da balança A).
- I7 – Peso pronto A (sinal de peso pronto do indicador da balança A).
- I8 – Grande caudal B (sinal de grande caudal do indicador da balança B).
- I9 – Pequeno caudal B (sinal de pequeno caudal do indicador da balança B).
- I10 – Peso pronto B (sinal de peso pronto do indicador da balança B).
- I11 – Botão de restos A (sinal de um botão de impulso que dá ordem para o balde de pesagem A descarregar em manual).
- I12 – Botão de restos B (sinal de um botão de impulso que dá ordem para o balde de pesagem B descarregar em manual).
- I13 – Ordem máquina seguinte (sinal elétrico proveniente dos tapetes transportadores seguintes que indica que estão a trabalhar e podem receber um saco).
- I14 - Fim de curso desalinhamento de tela A (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a tela do tapete de alimentação da balança A está desalinhada).
- I15 - Fim de curso desalinhamento de tela B (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a tela do tapete de alimentação da balança B está desalinhada).
- I16 - Válvula de corte aberta A (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a pala mecânica de corte de caudal da balança A está aberta, ou seja, não está a cortar a entrada de produto).
- I17 - Válvula de corte aberta B (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica se a pala mecânica de corte de caudal da balança B está aberta, ou seja, não está a cortar a entrada de produto).
- I18 - Fim de curso do “boca sacos” fechado (sinal de um sensor indutivo que indica se o pneumático que segura a embalagem para onde é descarregado o produto se encontra na posição de manter a embalagem segura pronta a receber produto).
- I19 - Fim de curso fecha “boca sacos” (sinal de um sensor do tipo “fim de curso” que indica a colocação da embalagem pelo operador para que o pneumático do “boca sacos” possa fechar).
- I20 - Emergência “boca sacos” (sinal de uma botoneira de segurança que ao ser pressionada perde este sinal obrigando o pneumático do boca sacos a abrir e largar o saco independente de outras condições).

### Saídas digitais:

Q1 – Descarga da balança A (sinal responsável pela atuação da electroválvula de descarga do balde de pesagem A).

Q2 – Descarga da balança B (sinal responsável pela atuação da electroválvula de descarga do balde de pesagem B).

Q3 – Tapete Lento A (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade lenta do motor do tapete de alimentação da balança A).

Q4 – Tapete Lento B (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade lenta do motor do tapete de alimentação da balança B).

Q5 – Tapete Rápido A (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade rápida do motor do tapete de alimentação da balança A).

Q6 – Tapete Rápido B (sinal que atua o contactor responsável pela velocidade rápida do motor do tapete de alimentação da balança B).

Q7 – *Start Penko* A (sinal “*start*” do indicador da balança A).

Q8 – *Enable Penko* A (sinal “*enable*” do indicador da balança A).

Q9 – *Start Penko* B (sinal “*start*” do indicador da balança B).

Q10 – *Enable Penko* B (sinal “*enable*” do indicador da balança B).

Q11 – Electroválvula Boca Sacos (sinal que atua a electroválvula do pneumático responsável por segurar a embalagem que recebe a descarga da balança).

Q12 – Conta sacos A (sinal que faz incrementar um contador de embalagens externo da balança A).

Q13 – Conta sacos B (sinal que faz incrementar um contador de embalagens externo da balança B).

Como explicado anteriormente, a doseadora 5 diverge das doseadoras 3 e 4, na medida em que é composta por dois baldes de pesagem e a jusante invés de ser uma ensacadora automática a receber as descargas, é um “boca sacos” (Figura 4.14) em que o operador coloca as embalagens manualmente.



Figura 4.14 - Exemplo de um "boca sacos" [13].

- 1 - Sensores mecânicos “fins de curso” para o operador da máquina pressionar quando tiver a embalagem em posição de modo a fechar o suporte do “boca sacos” que segura a embalagem pela “boca”;
- 2 – Botoneira de emergência para o operador forçar a abertura do suporte do “boca sacos”;
- 3 – Suporte do “Boca sacos” (mecanismo movido por dois pneumáticos que abre e fecha de modo a largar ou segurar a embalagem pela “boca”).

## 4.5 Caracterização, calibração, parametrização e verificação

---

De modo a que um instrumento de pesagem seja verificado legalmente e aprovado é necessário identificá-lo de acordo com as normas metrológicas. Desse modo deve-se caracterizar as doseadoras ponderais automáticas em estudo, parametrizar os seus indicadores de pesagem de forma a garantirem a exatidão dos enchimentos e verificá-las voluntariamente para garantir que estão preparadas para serem submetidas a verificação legal.

### 4.5.1 Caracterização das doseadoras ponderais

---

As características das doseadoras ponderais são as seguintes

- Alcance máximo - Discutido no capítulo 4 como o valor máximo que se consegue pesar no balde de pesagem subtraindo a estrutura do balde de pesagem ao total das células de carga;

- Alcance mínimo - Valor escolhido com base nos limites de construção da embalagem com sendo o peso mínimo de enchimento que se pode fazer na ensacadora da qual o balde de pesagem é parte integrante;
- Enchimento máximo - Dado fornecido pelos enchimentos para os quais a ensacadora foi concebida;
- Enchimento mínimo: - Dado fornecido pelos enchimentos para os quais a ensacadora foi concebida;
- Divisão - Valor discutido no capítulo 4;
- Classe de exatidão – Considera-se fator  $x=1$ , mantendo a classe de exatidão funcional mais rigorosa – discutido no capítulo 2.

#### 4.5.1.1 Caracterização das doseadoras ponderais 1 e 2

---

Nas doseadoras ponderais 1 e 2 definiu-se as seguintes características:

- Alcance máximo: 10 kg;
- Alcance mínimo: 1 kg;
- Enchimento máximo: 5 kg (os enchimentos são de 5kg, nunca superiores);
- Enchimento mínimo: 2 kg (os enchimentos eventualmente poderão ser de 2kg, nunca inferiores);
- Divisão: 10 g (valor definido no capítulo 4);
- Classe de exatidão: X(1).

#### 4.5.1.2 Caracterização das doseadoras ponderais 3, 4 e 5

---

Nas doseadoras ponderais 3, 4 e 5 definiu-se as seguintes características:

- Alcance máximo: 60 kg;
- Alcance mínimo: 1 kg;
- Enchimento máximo: 50 kg (os enchimentos são de 30kg e eventualmente podem ocorrer enchimentos de 50 kg, nunca superiores a 50 kg);
- Enchimento mínimo: 10 kg (os enchimentos eventualmente poderão ser de 15kg e 10 kg, nunca inferiores a 10 kg);
- Divisão: 20 g (valor definido no capítulo 4);
- Classe de exatidão: X(1).

## 4.5.2 Calibração dos indicadores de pesagem

---

Os indicadores de pesagem foram calibrados usando o método linear de dois pontos que consiste em:

- Efetuar o zero com o balde de pesagem vazio e devidamente limpo;
- Registrar um determinado peso (não deve ser inferior a 50% do alcance máximo do indicador), através da colocação de massas calibradas dentro do balde de pesagem;
- Após o registo, o indicador automaticamente efetua uma linearização entre o ponto zero e o ponto com massas calibradas;

No caso dos indicadores de pesagem das doseadoras 1 e 2, a calibração foi efetuada com 10 kg de massas calibradas que é 100% do alcance máximo (superior ao mínimo recomendado: 50%).

No caso dos indicadores de pesagem das doseadoras 3, 4 e 5, a calibração foi efetuada com 40 kg de massas calibradas que é cerca de 67% do alcance máximo (superior ao mínimo recomendado: 50%).

## 4.5.3 Parametrização dos indicadores de pesagem e dos *Logo!*

---

Os indicadores de pesagem *Penko 1020* tem três tipos de parâmetros para ajustar:

- Parâmetros de receita (permitem ser parametrizadas várias receitas associadas cada uma a enchimentos diferentes);
- Parâmetros de configuração (caracterizam o modelo de enchimento);
- Parâmetros do indicador (ajustes do indicador de pesagem).

Quanto aos *Logo!* apenas ficaram tempos de funcionamento disponíveis para ajustar.

### 4.5.3.1 Parametrização das doseadoras ponderais 1 e 2

---

No caso dos *Logo!*, parametrizou-se os seguintes tempos:

- Tapete de alimentação em velocidade rápida (balde de pesagem A): 0 seg.;
- Tapete de alimentação em velocidade rápida (balde de pesagem B): 0 seg.;
- Tempo de abertura do balde de pesagem A: 1 seg.;

- Tempo de fecho do balde de pesagem A: 1 seg.

Com estas parametrizações (parâmetros *Logo!* e parâmetros *Penko* - Tabela 4.6), conseguiu-se obter uma maior velocidade de enchimento e descarga em relação ao sistema anterior (de 10 seg./descarga para 7 seg./descarga).

Tabela 4.6 - Parâmetros *Penko 1020* - Doseadoras 1 e 2.

Parâmetros <i>Penko 1020</i> – Doseadoras ponderais 1 e 2			
Tipo Parâmetros	Descrição	Valor	Comentários
Receita 1 (Produto1)	<i>Setpoint</i> (peso alvo)	5,00 Kg	Peso alvo a colocar nas embalagens.
	<i>Turnover</i> (pequeno caudal)	1,10 Kg	Últimos quilos que são feitos em pequeno caudal para atingir o peso alvo com exatidão.
	<i>Inflight</i> (coluna queda)	0,03 Kg	Último produto em voo para atingir com exatidão o peso alvo.
	% Saída analógica em grande caudal	90%	Valor percentual da saída analógica durante o grande caudal, que é o sinal de controlo da intensidade de vibração das calhas vibratórias.
	% Saída analógica em pequeno caudal	70%	Valor percentual da saída analógica durante o pequeno caudal, que é o sinal de controlo da intensidade de vibração das calhas vibratórias.
Receita 2 (Produto2)	<i>Setpoint</i> (peso alvo)	5,00 Kg	Peso alvo do 2º produto configurado.
	<i>Turnover</i> (pequeno caudal)	1,50 Kg	Pequeno caudal do 2º produto configurado que é mais denso que o 1º produto, logo necessita de um pequeno caudal maior para atingir boa exatidão no peso alvo.
	<i>Inflight</i> (coluna queda)	0,05 Kg	Coluna de queda do 2º produto configurado que é mais denso que o 1º produto, logo tem maior quantidade de produto em voo.
	% Saída analógica em grande caudal	90%	Intensidade de vibração das calhas vibratórias em grande caudal (2º produto)
	% Saída analógica em pequeno caudal	50%	Intensidade de vibração das calhas vibratórias em pequeno caudal (2º produto). Diminuiu-se a intensidade de vibração no pequeno caudal do 2º produto para se conseguir exatidão no peso alvo devido a ser um produto mais denso.
Configuração	KEBT (tempo de anulação de pico)	1 Seg.	Anulação do pico proveniente do impacto mecânico da passagem de grande caudal para pequeno caudal
	Correção de coluna de queda	5%	Correção automática de 5% do valor da coluna de queda entre pesagens. Caso o produto tenha pequenas mudanças de densidade ao longo da produção, para se manter pesagens precisas, é necessário acertar a coluna de queda em função dos desvios que vão tendo em relação ao peso alvo pretendido.
	Máximo coluna de queda	0,10 Kg	Independentemente do acerto automático, a coluna de queda nunca ultrapassa este máximo de segurança.
	Tipo de estabilização	“Stable”	O indicador entra em “peso pronto” após atingir o peso alvo e o peso estabilizar num intervalo de tempo conjugado com uma variação máxima.
	Tempo espera após estabilização	0 Seg.	Após estabilizar o indicador não espera mais nenhum tempo para entrar em “peso pronto”.
Indicador	Unidades	Kg	Unidades do indicador de pesagem
	Passo do indicador	1	Em conjugação com os pontos decimais atribuí a divisão ao indicador (neste caso 0,01 Kg).
	Pontos decimais	0,00	Casas decimais do indicador de pesagem.
	Intervalo de estabilização	0,01 Kg	Variação máxima de peso para o indicador considerar que o peso está estabilizado.
	Tempo de estabilização	0,5 Seg.	Tempo necessário sem o indicador detetar variações de peso acima do intervalo de estabilização para considerar o peso estabilizado.

### 4.5.3.2 Parametrização das doseadoras ponderais 3, 4 e 5

No caso dos *Logo!*, parametrizou-se os seguintes tempos:

- Tempo de abertura do balde de pesagem A: 0,8 seg;
- Tempo de fecho do balde de pesagem A: 0,2 seg.

Com estas parametrizações (parâmetros *Logo!* e parâmetros *Penko* - Tabela 4.7), conseguiu-se obter uma maior velocidade de enchimento e descarga em relação ao sistema anterior (de 12 seg./descarga para 10 seg./descarga). Os tempos de abertura e fecho dos baldes de pesagem nestes casos tiveram de ser mais reduzidos em relação às doseadoras 1 e 2, de modo a conseguir manter e até melhorar a velocidade de enchimento em relação ao sistema anterior.

Tabela 4.7 - Parâmetros *Penko 1020* - Doseadoras 3, 4 e 5.

Parâmetros <i>Penko 1020</i> – Doseadoras ponderais 3, 4 e 5			
Tipo Parâmetros	Descrição	Valor	Comentários
Receita 1 (Produto1)	<i>Setpoint</i> (peso alvo)	30,00 Kg	Peso alvo a colocar nas embalagens.
	<i>Turnover</i> (pequeno caudal)	11,00 Kg	Últimos quilos que são feitos em pequeno caudal para atingir o peso alvo com exatidão.
	<i>Inflight</i> (coluna queda)	0,10 Kg	Último produto em voo para atingir com exatidão o peso alvo.
Receita 2 (Produto2)	<i>Setpoint</i> (peso alvo)	30,00 Kg	Peso alvo do 2º produto configurado.
	<i>Turnover</i> (pequeno caudal)	15,00 Kg	Pequeno caudal do 2º produto configurado que é mais denso que o 1º produto, logo necessita de um pequeno caudal maior para atingir boa exatidão no peso alvo.
	<i>Inflight</i> (coluna queda)	0,20 Kg	Coluna de queda do 2º produto configurado que é mais denso que o 1º produto, logo tem maior quantidade de produto em voo.
Configuração	KEBT (tempo de anulação de pico)	1 Seg.	Anulação do pico proveniente do impacto mecânico da passagem de grande caudal para pequeno caudal
	Correção de coluna de queda	5%	Correção automática de 5% do valor da coluna de queda entre pesagens. Caso o produto tenha pequenas mudanças de densidade ao longo da produção, para se manter pesagens precisas, é necessário acertar a coluna de queda em função dos desvios que vão tendo em relação ao peso alvo pretendido.
	Máximo coluna de queda	0,30 Kg	Independentemente do acerto automático, a coluna de queda nunca ultrapassa este máximo de segurança.
	Tipo de estabilização	"Stable"	O indicador entra em "peso pronto" após atingir o peso alvo e o peso estabilizar num intervalo de tempo conjugado com uma variação máxima.
	Tempo espera após estabilização	0 Seg.	Após estabilizar o indicador não espera mais nenhum tempo para entrar em "peso pronto".
Indicador	Unidades	Kg	Unidades do indicador de pesagem
	Passo do indicador	2	Em conjugação com os pontos decimais atribui a divisão ao indicador (neste caso 0,02 Kg).
	Pontos decimais	0,00	Casas decimais do indicador de pesagem.

	Intervalo de estabilização	0,02 Kg	Variação máxima de peso para o indicador considerar que o peso está estabilizado.
	Tempo de estabilização	0,5 Seg.	Tempo necessário sem o indicador detetar variações de peso acima do intervalo de estabilização para considerar o peso estabilizado.

#### 4.5.4 Verificação das doseadoras ponderais

---

De modo a garantir que a doseadoras ponderais não ultrapassem os limites de erro nas pesagens, efetuou-se uma verificação estática e dinâmica (dos enchimentos) de uma forma voluntária para garantir o correto funcionamento da doseadora antes da verificação legal anual efetuada pela entidade legal designada pelo IPQ para o efeito.

##### 4.5.4.1 Verificação estática

---

A verificação estática consiste em colocar uma massa padrão pré-determinada e registar o valor indicado. De seguida passa por ir colocando sobrecargas (massas calibradas iguais a 1/10 da divisão do indicador) até a divisão do indicador incrementar uma unidade e de deste modo consegue-se calcular o erro estático:

$$Erro\ estático = Valor\ indicado - Valor\ massa\ padrão - \frac{1}{2}e - n\frac{e}{10}$$

Onde:

$n$  é o nº de sobrecargas necessárias para incrementar uma divisão

$e$  é a divisão.

Este ensaio é efetuado nos seguintes intervalos de massa padrão [0e, 500e, 2000e] em que “e” é igual à divisão. Caso um dos intervalos ultrapasse o alcance máximo então esse intervalo é alterado para o valor de alcance máximo. No intervalo de verificação para [0e], considerou-se o erro máximo admissível igual ao do intervalo [500e]. Em todas as tabelas de verificação estática (Anexo E – Tabelas de verificação estática) pode-se verificar que o erro estático está sempre abaixo do erro máximo admissível. A título de exemplo apresenta-se a verificação estática realizada para a doseadora ponderal 3 na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Verificação estática da doseadora 3.

/Intervalos de Verificação (e = 20g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	7	-4g	1,2%	± 37,44g
500e – 10 kg	10,00 Kg	3	4g	1,2%	± 37,44g
2000e – 40 kg	40,02 Kg	2	26g	0,8%	± 99,84g

#### 4.5.4.2 Verificação do enchimento

A verificação do enchimento foi efetuada com base no método de verificação que é utilizada pelos auditores aquando da verificação legal anual. Esse método baseia-se em pesar cerca de 10 embalagens vazias e fazer a média das mesmas para se chegar ao valor médio de cada embalagem vazia. De seguida são efetuados cerca de 30 enchimentos por indicador de pesagem aos quais se desconta o peso médio da embalagem. A validação da doseadora ponderal ocorre se o desvio entre o valor de cada enchimento e o valor médio dos enchimentos nunca se desviar do DMA para esse enchimento. Esta verificação voluntária foi efetuada em todas as doseadoras em estudo neste projeto, verificando-se que nenhum dos enchimentos ultrapassava o DMA, validando-se o projeto. A balança manual utilizada para pesar os enchimentos não foi a mais apropriada para realizar a verificação não oficial pois apesar de estar certificada e ter a verificação legal anual do ano corrente, a sua exatidão é inferior à exatidão das doseadoras ponderais, tendo uma divisão de 50g. No entanto foi suficiente para validar os enchimentos como se pode observar a título de exemplo na Tabela 4.9, a verificação não oficial dos enchimentos da doseadora ponderal 3, em que para enchimentos nominais de 30 kg, o desvio máximo encontrado em relação à média foi de 60 g, bastante abaixo das 240 g permitidas pela legislação no caso de estarmos perante uma verificação legal.

Tabela 4.9 - Verificação dos enchimentos da doseadora 3.

Nº	Enchimentos com embalagem (Kg)	Enchimentos sem embalagem (Kg)	Desvio em relação à média (Kg)	Nº	Enchimentos com embalagem (Kg)	Enchimentos sem embalagem (Kg)	Desvio em relação à média (Kg)
1	30,20	30,00	-0,01	16	30,20	30,00	-0,01
2	30,20	30,00	-0,01	17	30,20	30,00	-0,01
3	30,20	30,00	-0,01	18	30,15	29,95	-0,06
4	30,25	30,05	0,04	19	30,25	30,05	0,04
5	30,20	30,00	-0,01	20	30,20	30,00	-0,01
6	30,20	30,00	-0,01	21	30,20	30,00	-0,01
7	30,20	30,00	-0,01	22	30,20	30,00	-0,01
8	30,25	30,05	0,04	23	30,20	30,00	-0,01
9	30,20	30,00	-0,01	24	30,25	30,05	0,04
10	30,20	30,00	-0,01	25	30,25	30,05	0,04
11	30,20	30,00	-0,01	26	30,20	30,00	-0,01
12	30,20	30,00	-0,01	27	30,20	30,00	-0,01
13	30,25	30,05	0,04	28	30,20	30,00	-0,01
14	30,20	30,00	-0,01	29	30,20	30,00	-0,01
15	30,20	30,00	-0,01	30	30,20	30,00	-0,01

Enchimento nominal: 30 Kg.

Valor médio de uma embalagem vazia: 0,20 Kg.

Valor médio de um enchimento sem embalagem: 30,01 Kg.

DMA (ver Tabela 2.1): 0,8% de 30 Kg, ou seja:  $\pm 240$  g



## 6 Conclusões

---

Os instrumentos de pesagem estão presentes em vários setores de uma indústria de rações. Alguns dão apoio direto às transações económicas como é o caso dos que controlam as entradas de matéria-prima e as saídas de ração. No entanto existem outros que não dão apoio direto às transações económicas com é o caso dos equipamentos que controlam as quantidades de cada fórmula que são importantíssimos no controlo de qualidade da ração a produzir.

Na sequência do parágrafo anterior, a Metrologia Legal vem desempenhar um papel importante na economia e ao nível do bem-estar das populações e indústrias, ao contribuir para o rigor, credibilidade e transparência das pesagens. Mesmo quando a Metrologia Legal não é obrigatória (quando os instrumentos de pesagem não intervêm diretamente em transações económicas), deve-se ter em conta os fundamentos da Metrologia e aplicá-los de forma a fiabilizar os instrumentos, garantido o resultado final pretendido dentro de tolerâncias consideradas admissíveis.

Nas indústrias das rações de hoje em dia, encontram-se vários instrumentos de pesagem integrados em processos industriais, como por exemplo em linhas de ensaque, que necessitam de ser revistos por não cumprirem com as recomendações metrológicas.

As indústrias das rações são obrigadas em termos legislativos a terem a verificação legal periódica atualizada, anualmente, em cada instrumento de pesagem que dê apoio direto a transações económicas, sendo que para isso é necessário primeiro reavaliar esses instrumentos e se necessário recondiçioná-los ou mesmo substituí-los de forma a cumprir com as recomendações metrológicas antes das verificações legais. Este projeto apresentou alguns casos de estudo onde esta situação aconteceu.

O facto de se ter desenvolvido este projeto em parceria com uma empresa, que neste caso é a empresa onde o autor deste projeto colabora, permitiu não só fazer um levantamento teórico e legislativo sobre o assunto mas também a oportunidade de o colocar em prática numa indústria, tendo-se obtido os resultados pretendidos e uma aquisição de *know-how* que pode ser usado em projetos futuros.

Este projeto foi concluído com sucesso tendo-se conseguido que todas as doseadoras ponderais automáticas que foram submetidas a intervenção, fossem de encontro às recomendações metrológicas apresentadas e devido a isso, fossem todas aprovadas nas verificações legais realizadas a *posteriori*. Na Figura 6.1, está a foto de um dos indicadores de pesagem instalados nas doseadoras ponderais submetidas a

intervenção, acompanhado pela respetiva vinheta de aprovação da verificação legal periódica:

- 1 – Vinheta de verificação legal periódica;
- 2 – Indicador de pesagem *Penko 1020*.



Figura 6.1 - Foto do indicador de pesagem acompanhado pela vinheta de verificação legal 2017.

## Bibliografia

---

- [1] I. N. d. Estatística, “Estatísticas Agrícolas 2015 (edição 2016),” 2016.
- [2] “IACA,” [Online]. Available: [.http://tektix2.com/](http://tektix2.com/). [Acedido em Dezembro 2016].
- [3] “Instituto Português da Qualidade,” [Online]. Available: <http://www1.ipq.pt/>. [Acedido em Dezembro 2016].
- [4] “Decreto-Lei 71/2011 de 16 Junho,” em *Diário da República*, 2011.
- [5] W. G. Andrew, *Applied instrumentation in the process industries*, Houston, Texas: Gulf Publishing Company, 1979.
- [6] L. E. S.r.l.. [Online]. Available: [www.laumas.com](http://www.laumas.com). [Acedido em Maio 2017].
- [7] P. Technology. [Online]. Available: <http://www.ptonline.com>. [Acedido em Maio 2017].
- [8] N. Instruments. [Online]. Available: [www.ni.com](http://www.ni.com). [Acedido em Maio 2017].
- [9] M. Toledo. [Online]. Available: [www.mt.com](http://www.mt.com). [Acedido em Maio 2017].
- [10] P. M. W. Weighing. [Online]. Available: [www.preciamolen.com](http://www.preciamolen.com). [Acedido em Maio 2017].
- [11] “Organisation Internationale de Métrologie Légale,” [Online]. Available: Ref. <https://www.oiml.org/>. [Acedido em Dezembro 2016].
- [12] “Diretiva 2014/32/UE do Parlamento Europeu e Conselho,” em *Jornal Oficial da União Europeia*, 2014.
- [13] T. Srl. [Online]. Available: [www.technipes.com](http://www.technipes.com). [Acedido em Maio 2017].
- [14] OIML, “International Recommendation - OIML R76-1 (Non automatic weighing instruments),” 2006.
- [15] OIML, “International Recommendation - OIML R60 (Metrological regulation for load cells),” 2000.
- [16] Penko. [Online]. Available: [www.penko.com](http://www.penko.com). [Acedido em Maio 2017].
- [17] P. E. b.v., “Manual do indicador peso tipo SAI MV”.

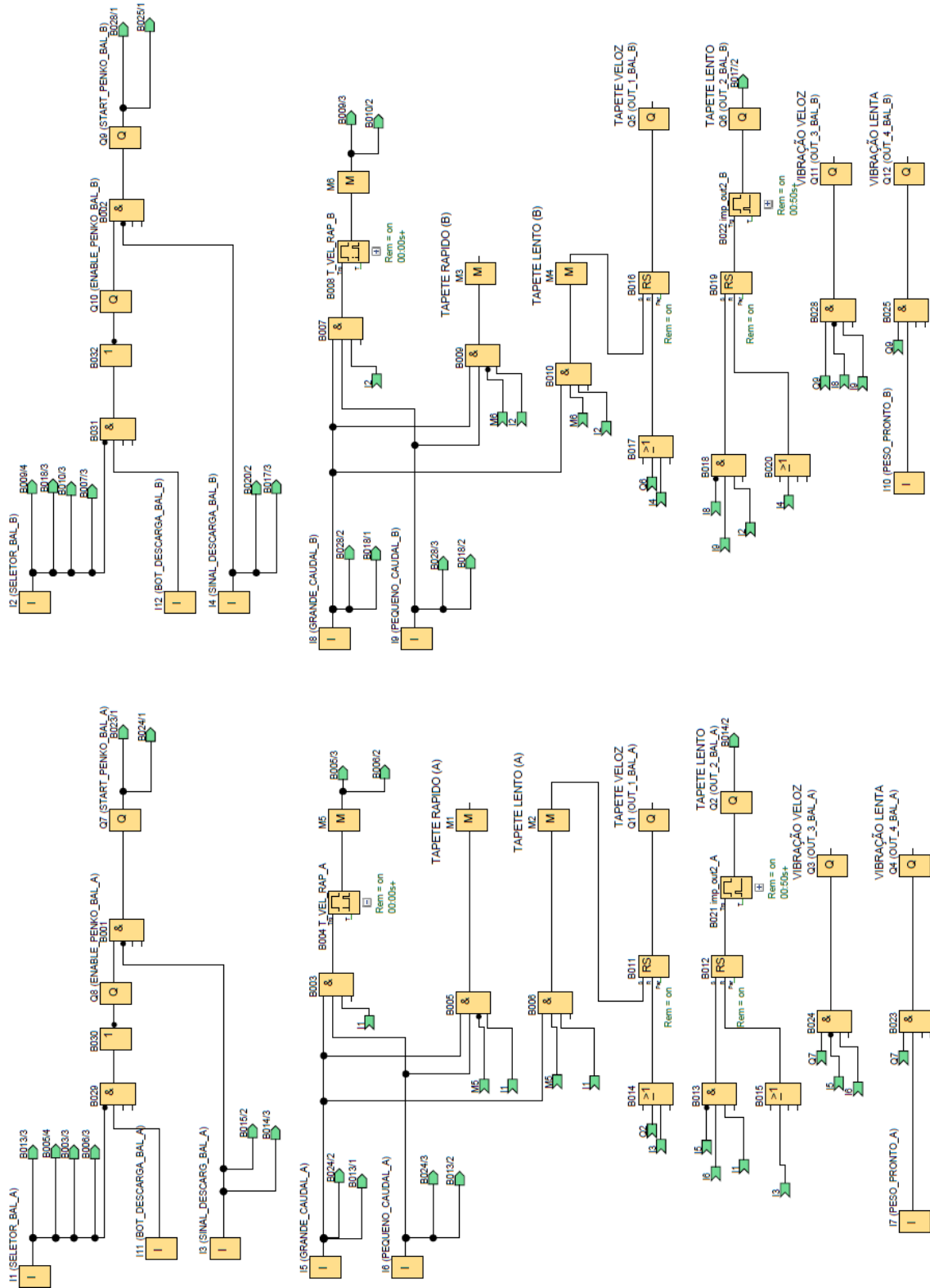


## Anexos

---

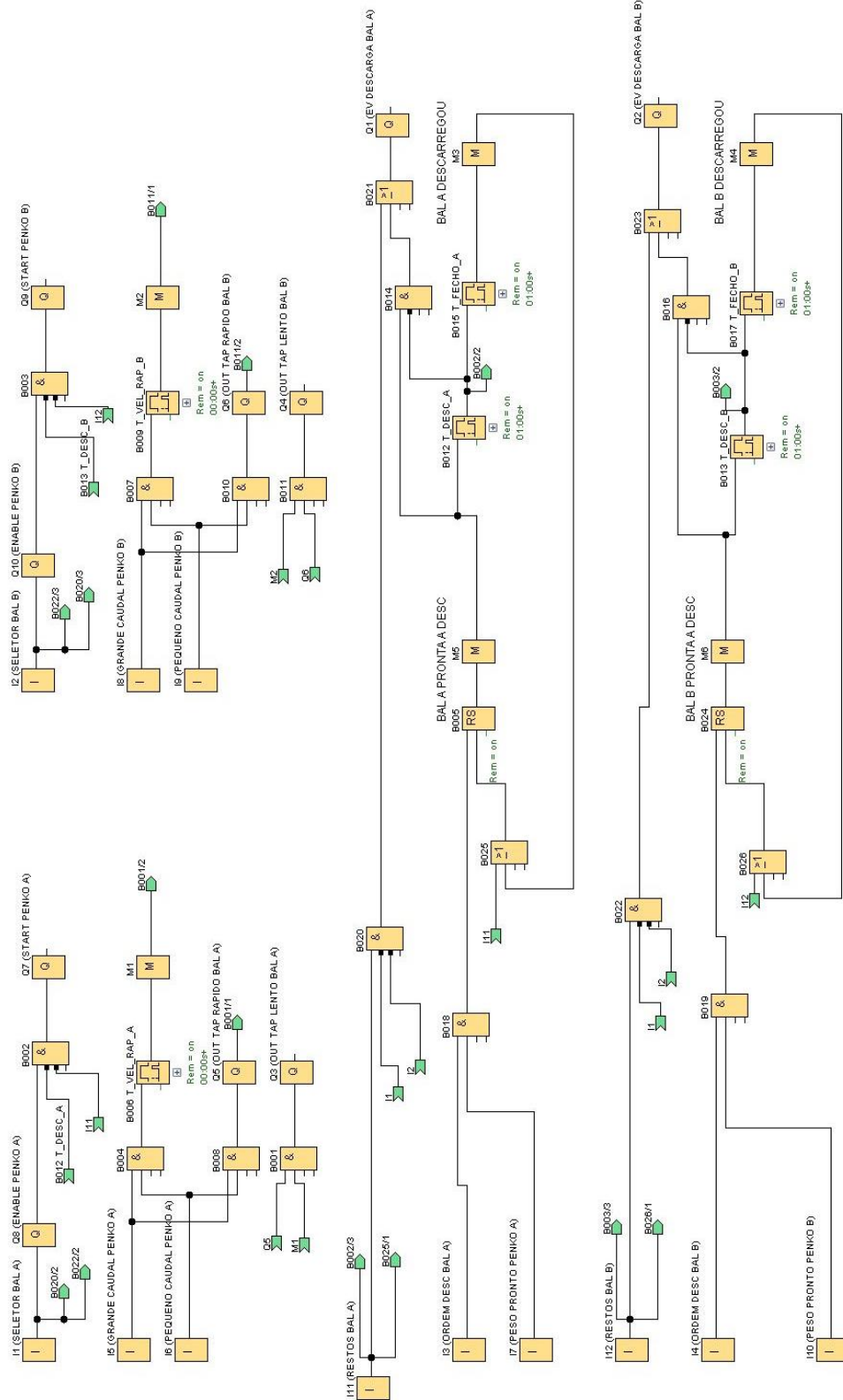


# Anexo A – Programa Logo! da doseadora 1



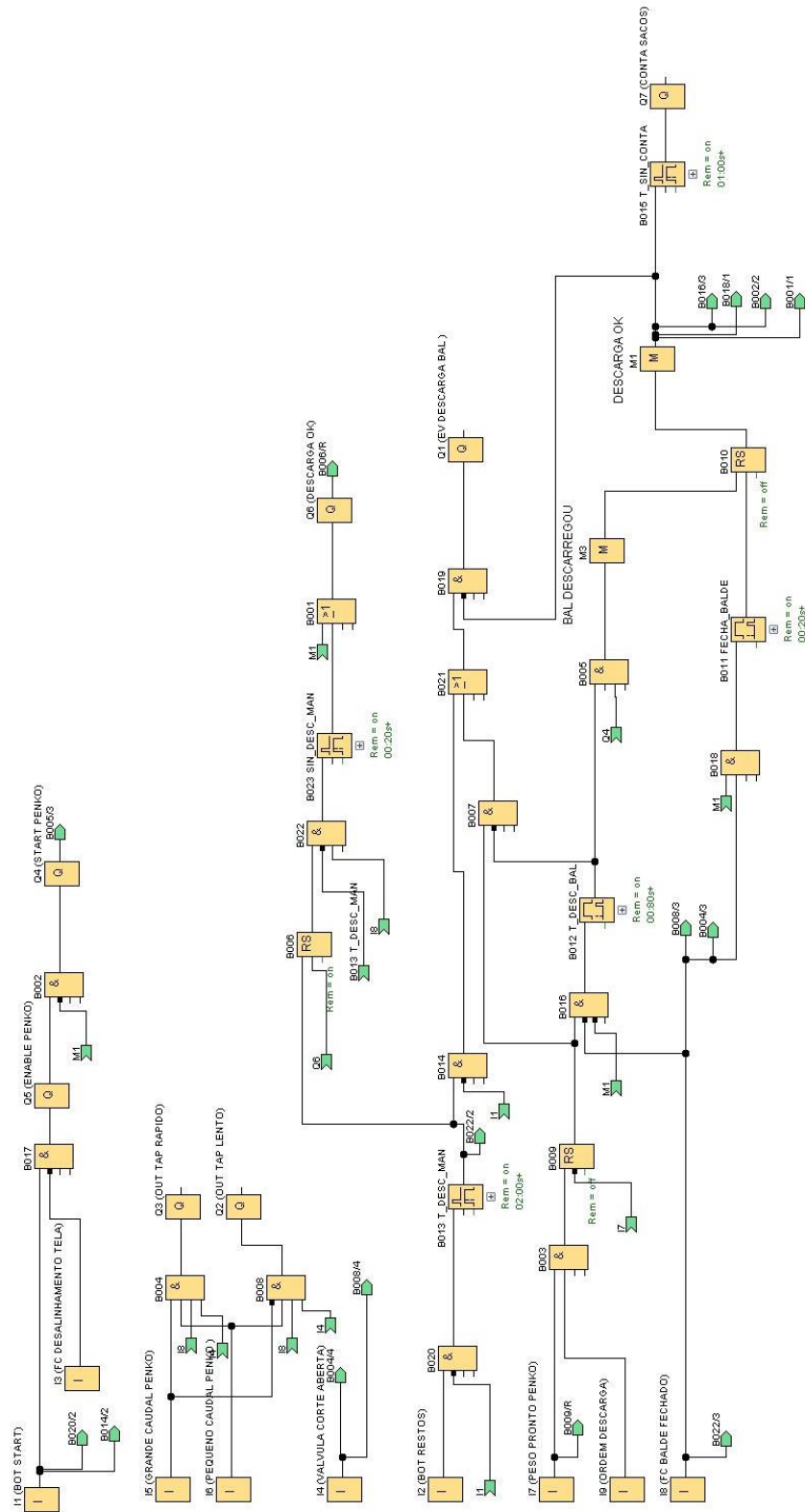


# Anexo B – Programa Logo! da doseadora 2



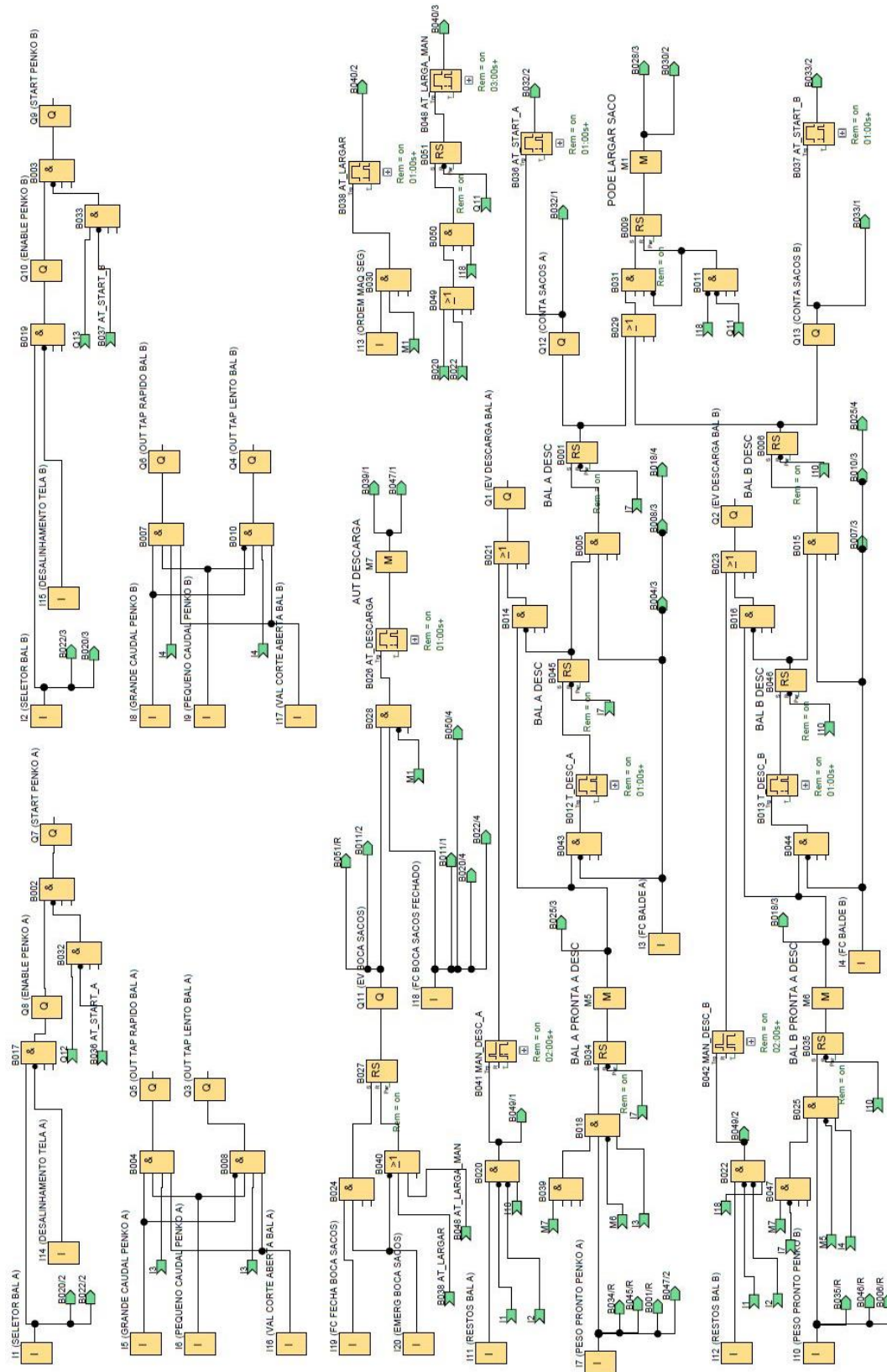


# Anexo C – Programa *Logo!* das doseadoras 3 e 4





# Anexo D – Programa Logo! da doseadora 5





## Anexo E – Tabelas de verificação estática

Verificação estática da doseadora 1A.

Intervalos de Verificação (e= 10g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	6	-1g	1,2%	± 18,72g
500e – 5 kg	5,00 Kg	6	-1g	1,2%	± 18,72g
Alcance máximo – 10 kg	10,00 Kg	8	-3g	1,2%	± 37,44g

Verificação estática da doseadora 1B.

Intervalos de Verificação (e = 10g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	5	0g	1,2%	± 18,72g
500e – 5 kg	5,00 Kg	7	-2g	1,2%	± 18,72g
Alcance máximo – 10 kg	10,00 Kg	4	1g	1,2%	± 37,44g

Verificação estática da doseadora 2A.

Intervalos de Verificação (e = 10g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	4	1g	1,2%	± 18,72g
500e – 5 kg	5,00 Kg	9	-4g	1,2%	± 18,72g
Alcance máximo – 10 kg	10,00 Kg	4	1g	1,2%	± 37,44g

Verificação estática da doseadora 2B.

Intervalos de Verificação (e = 10g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	5	0g	1,2%	± 18,72g
500e – 5 kg	5,00 Kg	3	2g	1,2%	± 18,72g

Alcance máximo – 10 kg	10,00 Kg	4	1g	1,2%	± 37,44g
------------------------	----------	---	----	------	----------

Verificação estática da doseadora 3.

Intervalos de Verificação (e = 20g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	7	-4g	1,2%	± 37,44g
500e – 10 kg	10,00 Kg	3	4g	1,2%	± 37,44g
2000e – 40 kg	40,02 Kg	2	26g	0,8%	± 99,84g

Verificação estática da doseadora 4.

Intervalos de Verificação (e = 20g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	3	4g	1,2%	± 37,44g
500e – 10 kg	10,02 Kg	5	20g	1,2%	± 37,44g
2000e – 40 kg	40,02 Kg	7	16g	0,8%	± 99,84g

Verificação estática da doseadora 5A.

Intervalos de Verificação (e = 20g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	7	-4g	1,2%	± 37,44g
500e – 10 kg	10,02 Kg	2	26g	1,2%	± 37,44g
2000e – 40 kg	40,00 Kg	4	2g	0,8%	± 99,84g

Verificação estática da doseadora 5B.

Intervalos de Verificação (e = 20g)	Valor indicado antes de colocar as sobrecargas	Nº sobrecargas até incrementar 1 divisão	Erro estático	Desvio máximo admissível (ver Tabela 2.1)	Erro máximo admissível na pesagem estática (0,312xDMA)
0e – 0 kg	0,00 Kg	4	2g	1,2%	± 37,44g
500e – 10 kg	10,00 Kg	6	-2g	1,2%	± 37,44g
2000e – 40 kg	40,00 Kg	8	-6g	0,8%	± 99,84g

