

Paulo Marcelo Porto Alves Blanco
TATIANA CLAUDIA GOMES DA COSTA ANTUNES

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASSIFICAÇÃO, CONTAGEM,
ARMAZENAGEM E FORNECIMENTO DE MOEDAS**

Trabalho apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
título Engenheira.

Área de Concentração:
Automação Comercial

Orientador:
Prof. Nicola Getschko

SÃO PAULO
- 1997 -

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Nicola Getschko, pelas diretrizes seguras e pelo permanente incentivo.

Ao colega de trabalho Paulo Marcelo Porto Alves Blanco, pela ajuda e desenvolvimento em conjunto deste trabalho.

Ao Sr. Sérgio da Tok Take Vending Systems do Brasil Ltda., pelas informações sobre os moedeiros disponíveis no mercado.

À todos que ajudaram e colaboraram direta ou indiretamente com este trabalho.

Índice

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 1 - PROJETO MECÂNICO 2

1. ESPECIFICAÇÕES DOS SISTEMAS DO PROJETO	2
1.1. SEPARAÇÃO DE MOEDAS	2
1.2. CLASSIFICAÇÃO DE MOEDAS	3
2. OBTENÇÃO E ANÁLISE DAS SOLUÇÕES PARA O PROJETO	3
2.1. SEPARAÇÃO DAS MOEDAS	3
2.1.1. Solução 1 - Vibrador com perfil de dente de serra	3
2.1.2. Solução 2 - Roda com Rasgos	5
2.1.3. Matriz de Decisão e Escolha da Melhor Alternativa	6
2.1.4. Análise das Soluções	7
2.2. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE MOEDAS	9
2.2.1. Solução 1 - Rampa com anteparas	9
2.2.2. Solução 2 - Rampa em Hélice com Rasgos	10
2.2.3. Solução 3 - Identificação de Diâmetro com o uso de fotosensores.	11
2.2.4. Solução 5 - Sensor E3W-7 da Omron (CCD)	12
2.2.5. Solução 4 - Identificação Magnética	13
2.2.6. Solução 6 - Sensor especializado em identificação de moeda	14
2.2.7. Matriz de Decisão	15
2.2.8. Análise das Soluções	18
3. PROJETO BÁSICO	23
3.1. SISTEMA DE SEPARAÇÃO	23
3.1.1. Sistema de Classificação	25
3.1.2. Rampa	26

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

3.1.3. Rasgos	27
3.1.4. Posicionamento dos Tubos	28
3.1.5. Sensores	29
3.1.6. Desenhos	30
3.2. ESTRUTURA EXTERNA	30
4. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA CLASSIFICADOR DE MOEDAS	30
4.1. TESTES DO SISTEMA CLASSIFICADOR DE MOEDAS	31
CAPÍTULO 3 - PARTE ELETRÔNICA	32
1. ESPECIFICAÇÕES	32
1.1. FONTE	32
1.2. SOFTWARE	33
2. ESCOLHA E DESENVOLVIMENTO	36
2.1. FONTE	36
2.2. SOFTWARE	36
2.2.1. Programa Principal	37
2.2.2. Módulo de Acionamento do Motor de Passo / Solenóide	41
2.2.3. Módulo de leitura dos sensores e controle do motor de corrente contínua	44
3. TESTES DO SOFTWARE	47
CONCLUSÃO	48
ANEXO 1	49
1. DESENHO DE FABRICAÇÃO DO SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE MOEDAS	49
ANEXO 2	51
1. CÁLCULO DA VELOCIDADE MÁXIMA	51
2. CÁLCULO DO TEMPO DE ROTAÇÃO MÍNIMO	52
3. CÁLCULO DA VELOCIDADE ANGULAR MÁXIMA	53
4. CÁLCULO DO COMPRIMENTO PERCORRIDO PELA MOEDA DURANTE A ROTAÇÃO	54
ANEXO 3	55
1. DESENHO DE FABRICAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO	55

ANEXO 4	56
1. DESENHO DE FABRICAÇÃO DA ESTRUTURA EXTERNA DA SCAM	56
ANEXO 5	57
1. CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DA VELOCIDADE DO MOTOR DE PASSO	57
ANEXO 6	59
1. CÁLCULO DO COMPRIMENTO A SER LIDO DA MOEDA	59
2. CÁLCULO DA VELOCIDADE DA MOEDA	60
3. VERIFICAÇÃO EMPÍRICA DO TEMPO QUE A ROTINA DESENVOLVIDA LEVA PARA FAZER DUAS VARREDURAS CONSECUTIVA	60
ANEXO 7	61
1. DISCRETIZAÇÃO E PLANIFICAÇÃO DA RAMPA EM HÉLICE	61
FIGURA 23 - DESENHO PLANIFICADO DO ENCOSTO DA RAMPA EM HÉLICE	65
ANEXO 8	66
1. LISTAGEM DO SOFTWARE DE CONTROLE E INTERFACE DA SCAM	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	75
APÊNDICE 1	
1. ÍNDICE DO TRABALHO COMPLEMENTAR A ESTE, DE PAULO MARCELO PORTO ALVES BLANCO	

LISTA DE EQUAÇÕES, TABELAS E FIGURAS

<i>Figura 1 - Esquema Ilustrativo do Sistema de Separação de Moedas por Vibração</i>	4
<i>Figura 2 - Esquema Ilustrativo do Sistema de Separação de Moedas via Roda com Rasgos</i>	5
<i>Tabela 1 - Matriz de Decisão do Sistema de Separação</i>	7
<i>Figura 3 - Esquema Ilustrativo da Solução de Rampa com Anteparas</i>	9
<i>Figura 4 - Esquema Ilustrativo da Solução de Rampa em Hélice</i>	11
<i>Figura 5 - Esquema Ilustrativo da Identificação do Diâmetro com o Uso de Fotosensores;</i>	12
<i>Figura 6 - Esquema Ilustrativo da Solução Magnética</i>	14
<i>Tabela 2 - Matriz de Decisão do Sistema de Classificação</i>	18
<i>Figura 7 - Perfil da Rampa</i>	26
<i>Figura 8 - Esquema Planificado da Rampa em Hélice</i>	27
<i>Tabela 3 - Altura dos Rasgos</i>	28
<i>Figura 9 - Especificação das funções do software</i>	33
<i>Figura 10 - Estrutura da SCAM</i>	37
<i>Figura 11 - Disposição dos Sensores na Rampa</i>	40
<i>Figura 12 - Estrutura do Programa Principal</i>	41
<i>Figura 13 - Módulo de Acionamento de Motor de Passo / Solenóide</i>	42
<i>Figura 14 - Estrutura do Módulo de Leitura de Sensores e Controle do Motor CC</i>	45
<i>Equação 1 - Conservação de Energia I</i>	51
<i>Equação 2 - ICM e w</i>	51
<i>Equação 3 - Relação da velocidade em função da altura</i>	52
<i>Figura 15 - Rotação da Moeda</i>	52
<i>Equação 4 - Ângulo mínimo de rotação da moeda</i>	52
<i>Equação 5 - Conservação de Energia II</i>	53
<i>Equação 6 - Tempo mínimo</i>	53
<i>Equação 7 - Comprimento percorrido pela moeda</i>	54
<i>Equação 8 - Cálculo do tempo de delay - velocidade do motor de passo</i>	57
<i>Equação 9 - Cálculo do número de loops de delay - velocidade do motor de passos</i>	58
<i>Figura 16 - Esquema da moeda de 1 centavo em relação ao sensor de contagem</i>	59
<i>Equação 10 - Cálculo da distância a ser percorrida pela moeda pelo sensor</i>	59
<i>Equação 11 - Cálculo do tempo máximo de 2 varredura do sensor</i>	60
<i>Figura 17 - Raios Fundamentais da Hélice</i>	61

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

<i>Equação 12 - Cálculo de R_x</i>	61
<i>Equação 13 - Cálculo de R_y</i>	61
<i>Figura 18 - Parâmetros de Discretização de um Elemento Infinitesimal da Rampa</i>	62
<i>Figura 19 - Esquema da rampa em hélice no plano</i>	62
<i>Equação 14 - Cálculo de L_{Rx}'</i>	63
<i>Equação 15 - Cálculo de dL_{Rx}</i>	63
<i>Figura 20 - Esquema de planificação da pista da rampa em hélice</i>	63
<i>Equação 16 - Cálculo da planificação da pista da rampa</i>	63
<i>Figura 21 - Esquema de planificação do encosto da rampa em hélice</i>	64
<i>Equação 17 - Cálculo da planificação do encosto da rampa</i>	64
<i>Figura 22 - Desenho Planificado da Base da Rampa</i>	64

Resumo

Este trabalho descreve desde os primeiros estudos de uma máquina para separar moeda e emitir troco, até a projeto propriamente dito e a construção do protótipo. Tal projeto foi chamado Projeto do Sistema Classificador, Contador e Fornecedor de Moedas, apelidado por SCAM.

O Primeiro Capítulo deste Trabalho refere-se aos trabalhos realizados na Primeira Etapa do SCAM. Esta etapa abrangeu estudos de mercado, estudo das moedas brasileiras e desenvolvimento do projeto básico de quatro de seus sistemas (Separação, Classificação, Armazenamento e Emissão de Troco). Este trabalho apresenta apenas o projeto básico dos Sistemas de Separação e Classificação. Os demais tópicos citados acima estão descritos no trabalho do mesmo tema do aluno Paulo Marcelo Porto Alves Blanco.

O Segundo Capítulo refere-se aos trabalhos realizados na segunda etapa deste trabalho, as especificações e o desenvolvimento do software, bem como a escolha da fonte de alimentação. Quanto às especificações e escolha dos atuadores e sensores, bem como o desenvolvimento do hardware, foi desenvolvido pelo Paulo Marcelo Porto Alves Blanco.

Também são descritos os testes realizados com os componentes e com o protótipo, bem como os problemas encontrados na construção do protótipo.

Pode-se encontrar no Apêndice 1, o índice do trabalho do referido colega, de modo a identificar eventuais tópicos que venham a ser necessários para maior detalhamento de alguns tópicos do projeto.

Introdução

A automação comercial vem evoluindo dia após dia, devido a maior valorização do cliente e da qualidade de atendimento dos estabelecimentos comerciais. Hoje, pegar filas ou demorar para ser atendido pode ser o diferencial para ganhar a preferência do cliente. Esta tendência é muito fácil de ser observada em supermercados por exemplo, onde além de caixas registradoras, existem máquinas para preencher cheques, scanners de códigos de barras etc..

Hoje, o Brasil encontra uma situação econômica estável, onde o uso de moedas vem aumentando, além de sua valorização crescente. As moedas tem uma durabilidade maior que as notas em papel moeda, assim, o seu uso tem um menor custo ao governo e tende a ser incentivado.

Assim, identificou-se um mercado potencial para uma máquina que separasse moedas e emitisse troco, e que fizesse interface com máquina registradoras. Por exemplo, o seu uso em lanchonetes de fast-food ou pedágios seria de extrema utilidade para otimização do tempo despendido para contar moedas e emitir troco, além da garantia da contagem e emissão corretas.

Capítulo 1 - Projeto Mecânico

1. Especificações dos Sistemas do Projeto

1.1. Separação de Moedas

Tal sistema será responsável por separar as moedas uma a uma e ordená-las na posição adequada para a identificação do tipo/valor da mesma no sistema seguinte. Assim sendo, o usuário poderá colocar as moedas desordenadamente em uma região de entrada, sem qualquer preocupação quanto ao correto posicionamento das mesmas. Outra facilidade que o sistema deverá prover, é a possibilidade de colocação de várias moedas simultaneamente - estima-se um número em torno de 25 moedas.

Caso o sistema de separação necessite de algum acionamento elétrico/eletrônico, este deverá identificar a presença de moedas na área de entrada e automaticamente iniciar o processo de separação das mesmas e, se for também necessário algum desacionamento, este deverá identificar o término das moedas contidas no recipiente de entrada e então desligá-lo automaticamente.

A especificação da ordenação das moedas depende das necessidades do sistema seguinte do processo - sistema de classificação. Deste modo, faz-se necessária a definição do sistema de classificação antes da especificação detalhada da posição em que serão orientadas as moedas na ordenação.

1.2. Classificação de Moedas

Este sistema será responsável por detectar o tipo de cada moeda e conduzi-las ao local correto de armazenagem. Tal sistema deverá também possuir um mecanismo de contagem de cada tipo de moeda e emissão de sinal que possa atualizar o banco de dados do equipamento.

Não faz parte do escopo do projeto a verificação da autenticidade da moeda, assim basta identificar uma característica que distinga claramente o tipo de moeda para fazer-se a identificação. Não serão necessárias análises complexas, como a medição de vários parâmetros e o cruzamento destas informações para a identificação do tipo de moeda. Por exemplo, apenas um parâmetro como peso ou diâmetro pode ser suficiente para a identificação do tipo de moeda, desde que os erros de medições e de construção permitam a distinção de faixas de valores sem interferência.

2. Obtenção e Análise das Soluções para o Projeto

2.1. Separação das Moedas

2.1.1. Solução 1 - Vibrador com perfil de dente de serra

Submetendo-se o recipiente de entrada a uma vibração com perfil de “dente de serra” pode-se facilmente separar-se as moedas, movimentando-as sobre uma superfície. Mecanicamente, com auxílio de guias e anteparas, pode-se garantir que as moedas estão sendo separadas uma a uma.

Faz-se necessário a colocação de anteparas que garantam a passagem de apenas uma moeda por vez, ou seja, deve-se ter uma antepara vertical distante da superfície onde movem-se as moedas de mais do que uma espessura de moeda e menos do que duas espessuras de moedas - para evitar que passe uma moeda sobre outra. Também devem ser colocadas duas guias com uma distância maior do que o diâmetro da moeda de 1 Real (maior) e menor do que duas vezes o diâmetro da moeda de 1 centavo de Real (menor). Assim, pode-se garantir que uma moeda não está passando ao lado da outra.

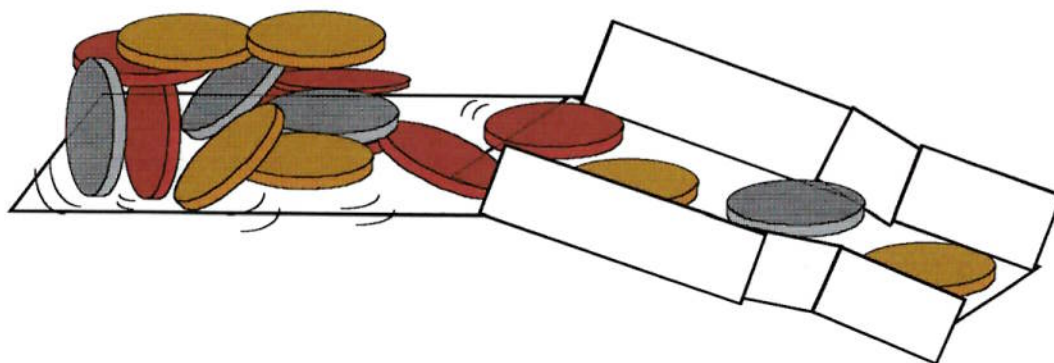


Figura 1 - Esquema Ilustrativo do Sistema de Separação de Moedas por Vibração

Deve existir ainda um sensor, por exemplo, de infravermelho que detecte a presença de moedas e acione/desacione o mecanismo que gerará as vibrações com onda com perfil de dente de serra.

Existem várias maneiras de se obter esta vibração, por exemplo através do acionamento temporizado de um conjunto solenóide e mola.

2.1.2. Solução 2 - Roda com Rasgos

Tal solução consiste em colocar uma roda praticamente na vertical, a qual possui rasgos que cabem uma única moeda (em termos de diâmetro e de espessura) e ao ser acionada por um motor, carrega uma moeda por vez para a parte superior da roda, onde estas caem em uma guia.

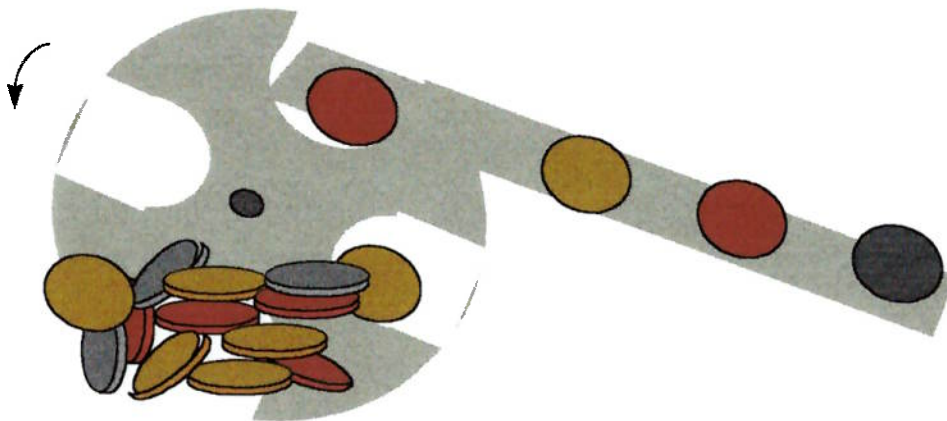


Figura 2 - Esquema Ilustrativo do Sistema de Separação de Moedas via Roda com Rasgos

Os rasgos devem ser dimensionados de modo a terem um diâmetro maior do que o diâmetro da moeda de 1 Real (maior) e menor do que duas vezes o diâmetro da moeda de 1 centavo de Real (menor), podendo-se assim garantir que não estão sendo carregadas duas moedas, uma ao lado da outra, em um mesmo rasgo. E espessura do disco também é importante e deve ser de mais do que uma espessura de moeda e menos do que duas espessuras de moedas - para evitar que os rasgos levem uma moeda sobre outra.

Deve existir ainda um sensor, por exemplo, de infravermelho que detecte a presença de moedas e acione/desacione o motor que irá girar o disco. Este sensor deverá estar posicionado na parte inferior do disco - região onde ficam todas as moedas ao serem colocadas no SCAM.

2.1.3. Matriz de Decisão e Escolha da Melhor Alternativa

A escolha correta da solução a ser adotada é um fator decisivo no sucesso da próxima etapa - o projeto propriamente dito. Assim, deve-se determinar as características requeridas do modelo e seu grau de importância. A partir deste levantamento pode-se avaliar as soluções levantadas e fazer uma escolha com maior segurança.

Foram escolhidas 3 características que são rapidamente explicadas abaixo:

Separação 1 por 1: este tópico refere-se a capacidade do sistema de separar uma moeda por vez, ou seja, avalia se o sistema tem chances de deixar passar duas moedas ao invés de uma só por vez. De certo modo, o que está sendo avaliado aqui é a eficiência do sistema, do que ele se propõe a fazer. Este fator é o mais importante de todos, pois se não fosse necessário separar uma moeda por uma, o SCAM não teria um sistema para executar esta tarefa, assim, atribuiu-se peso 3.

Separação de todas as moedas: este item avalia se o mecanismo desenvolvido separa todas as moedas de uma vez, ou se existe chance de alguma moeda ficar na região de entrada sem ser conduzida a região de separação. Este fator é importante, pois não é desejável que nenhuma moeda seja deixada na região de entrada, porém não compromete

eficiência do sistema no aspecto de permitir a classificação ou contagem errada de moedas. Portanto, atribui-se um peso pequeno a este fator, peso 1.

Construção: a facilidade de construção é um fator decisivo, pois a sua complexidade está diretamente relacionada com o custo, que por sua vez deve ser baixo para permitir que o produto tenha uma campo no mercado de automação comercial. Como a viabilidade do projeto está diretamente ligada ao custo e, conseqüentemente, a facilidade de construção, foi atribuído a esta característica o peso 2.

Tabela 1 - Matriz de Decisão do Sistema de Separação

Característica	Peso	Solução 1 - Vibrador	Solução2 - Disco
Separação 1 por 1	3	4 / 12	5 / 15
Separação de todas as moedas	2	4 / 4	3 / 3
Construção	1	4 / 8	4 / 8
Total		24	26

2.1.4. Análise da Soluções

2.1.4.1. Análise das Solução 1- Vibrador

O vibrador precisa ter sua anteparas e guias muito bem projetadas para garantir que passe apenas uma moeda por vez sem travamento (duas moedas ficarem presas), assim estimou-se uma nota de 80% de eficiência, ou seja, 4 em 5.

Quanto a capacidade de separar todas as moedas, avalia-se que este tem uma confiabilidade muito boa, pois este fator está diretamente ligado com a forma da onda de vibração, a qual já é uma tecnologia consagrada hoje e utilizada em muitos mecanismos.

Nota 4.

A sua construção é de relativa simplicidade, excetuando-se as guias e anteparas, o que não chega a ser um fator muito crítico. Nota 4.

2.1.4.2. Análise da Solução 2 - Disco

O disco com rasgos garante uma eficiência praticamente de 100% quanto a sua capacidade de separar uma a uma as moedas, pois cada rasgo só tem espaço físico para carregar uma moeda, o que praticamente elimina a hipótese de conduzir duas moedas simultaneamente ou de travamento. Assim atribui-se a nota máxima 5.

O disco requer um projeto elaborado da entrada das moedas, de modo que a posição relativa das moedas com o disco garanta que todas as moedas sejam conduzidas pelo disco até o sistema de classificação. Assim, atribuiu-se nota 3 a esta propriedade.

Quanto a sua construção, é relativamente simples, necessitando basicamente de um disco com rasgos, um motor, um acoplamento e um sensor. Nota 4.

Portanto, da matriz de decisão identificou-se a Solução 2 - Disco com Rasgos, como a melhor solução para satisfazer as propriedades desejadas do Sistema de Separação.

2.2. Sistema de Classificação de Moedas

2.2.1. Solução 1 - Rampa com anteparas

Tal solução baseia-se na classificação pelo diâmetro e consiste em fazer uma rampa com perfil em L inclinada e com anteparas. Seu princípio de funcionamento é a moeda por gravidade rola sobre a guia até encontrar uma anteparas que a desequilibra e joga para fora da rampa.

A idéia principal é que as anteparas fiquem distante da parte inferior da guia o equivalente a um diâmetro de cada tipo, em valor decrescente. Ou seja, a primeira anteparas que uma moeda encontra ao rolar sobra a rampa está a 25mm de altura, assim, apenas a moeda de 1 Real irá bater na anteparas, desequilibrar-se e cair. As demais moeda passarão por baixo da anteparas como se ela nem existisse e baterá na anteparas com a altura do seu diâmetro, desequilibrando e caindo da rampa.

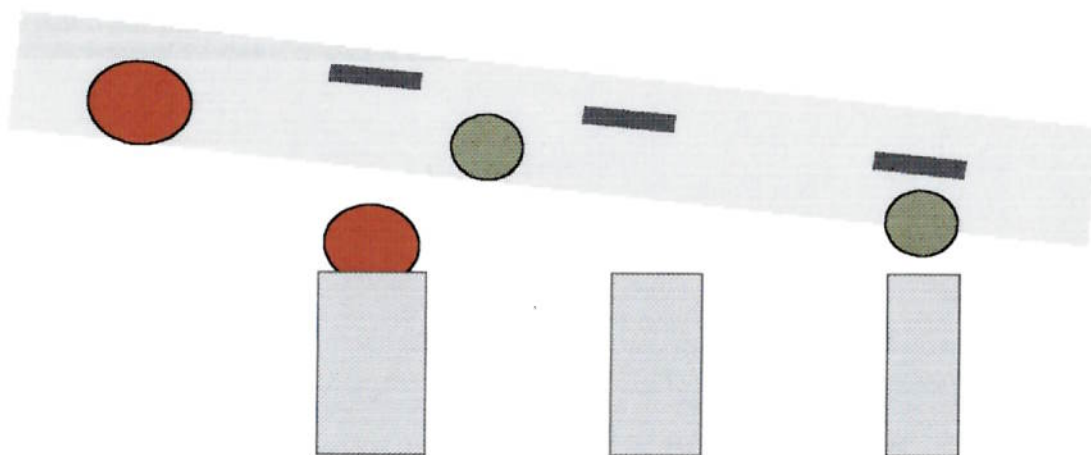


Figura 3 - Esquema Ilustrativo da Solução de Rampa com Anteparas

Esta solução faz a identificação do tipo de moeda e a classificação propriamente dita, levando ao correto local de armazenamento de um determinado tipo de moeda.

Também vale ressaltar que esta solução não requer nenhum acionador e é totalmente mecânica.

2.2.2. Solução 2 - Rampa em Hélice com Rasgos

A idéia principal desta solução é bem semelhante a exposta anteriormente, na verdade é um aprimoramento da idéia anterior visando a redução do tamanho do mecanismo desenvolvido.

A idéia desta solução é fazer com que a moeda role sobre uma rampa com perfil de L em forma de espiral, para diminuir o tamanho do sistema. Esta rampa também irá classificar as moedas pelo diâmetro e possuirá rasgos com o diâmetro das moedas. Os rasgos estarão dispostos em ordem crescente de diâmetro, de modo a retirar primeiramente as moedas menores da rampa e depois as maiores. Por exemplo, uma moeda de 1 centavo ao encontrar o rasgo com 16mm de altura, perderá o seu ponto de contato, vai desequilibrar-se e cair. As demais moeda passarão pelo rasgo como se ele nem existisse, pois o seu ponto de contato está acima da altura do rasgo e cairão no rasgo com a altura do seu diâmetro.

Esta solução faz a identificação do tipo de moeda e a classificação propriamente dita, levando ao correto local de armazenamento de um determinado tipo de moeda.

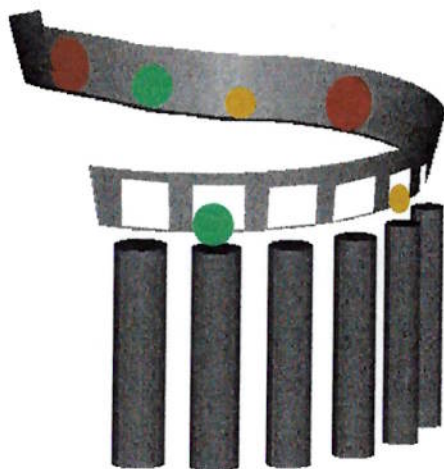


Figura 4 - Esquema Ilustrativo da Solução de Rampa em Hélice

Também vale ressaltar, que assim como a solução anterior, esta solução não requer nenhum acionador e é totalmente mecânica.

2.2.3. Solução 3 - Identificação de Diâmetro com o uso de fotosensores.

Tal solução consiste em identificar o tipo de moeda a partir da intensidade de luz que chega no fotoreceptor. A quantidade de luz consegue chegar no fotoreceptor é função direta do diâmetro da moeda, pois a moeda atua como uma parede que impede a passagem da luz, quanto maior o diâmetro da moeda, menor a intensidade de luz captada pelo fotosensor.

Através de um circuito comparador de nível do sinal do sensor pode-se identificar qual o tipo de moeda.

Para o sucesso desta medição, é condição essencial que a luz emitida seja coerente, o que garante que toda a luz está sendo emitida em direção e sentido bem definidos. O laser poderia ser usado com muito sucesso nesta medição.

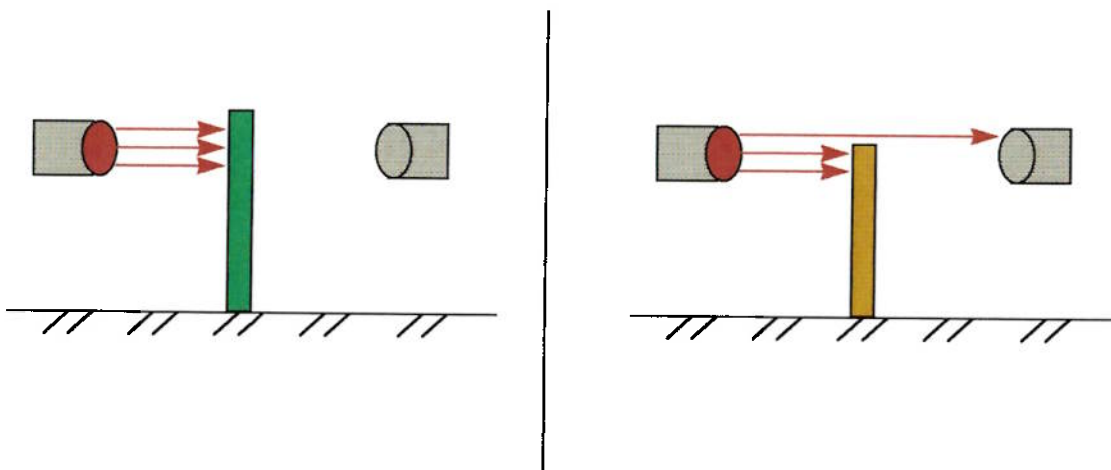


Figura 5 - Esquema Ilustrativo da Identificação do Diâmetro com o Uso de FOTOSSENSORES;

Esta solução faz apenas a identificação do tipo de moeda, sendo necessário desenvolvimento de um mecanismo para a classificação propriamente dito, e para conduzir as moedas aos correios locais de armazenamento. Assim, esta solução eletrônica, irá requerer ao menos um atuador para a classificação da moeda.

2.2.4. Solução 5 - Sensor E3W-7 da Omron (CCD)

Uma solução mais sofisticada, com idéia análoga a anterior, é o uso de um CCD para a identificação do diâmetro da moeda. Tal sensor já possui alta resolução e conhecendo-se os seus sinais pode-se identificar o tamanho da moeda.

A Omron possui um sensor que é uma solução pronta para a identificação do diâmetro, ou seja, o sensor E3W-7 que mede o tamanho de um objeto e envia um sinal digital com este tamanho. Tal sensor tem uma resolução suficiente para a medição de diâmetro desejada, no caso de medir dimensões de até 30mm, pode-se obter precisão de medição da ordem de décimos de milímetros.

Este sensor é de fácil interfaceamento com PC, pois a dimensão medida é informada através de um cabo serial, com seqüência de bits.

Este sensor não está disponível no mercado brasileiro e precisa ser encomendado na Omron do Brasil. Sua importação demora cerca de 60 dias e seu preço unitário sem impostos está em torno de R\$300,00¹.

Analogamente a solução anterior, esta solução faz apenas a identificação do tipo de moeda, sendo necessário o desenvolvimento de um mecanismo para a classificação propriamente dito, requerendo a presença de atuadores para a classificação da moeda.

2.2.5. Solução 4 - Identificação Magnética

Trata-se de uma solução eletrônica para a identificação indireta do diâmetro da moeda a partir da sua área. A idéia principal consiste em que um material ferromagnético (no caso a moeda) ao passar por uma espira com campo magnético gerado por uma corrente elétrica, altera este campo magnético, gerando uma corrente contrária. Esta corrente é função direta da variação do campo magnético e, conseqüentemente, da área da moeda.

¹ Fonte: Sr. Flávio Santos - Depto. de Vendas da Omron do Brasil .

Deste modo, pode-se estabelecer uma relação entre a corrente elétrica e o diâmetro da moeda (na verdade a área) e identificar-se a partir da corrente elétrica o tipo de moeda.

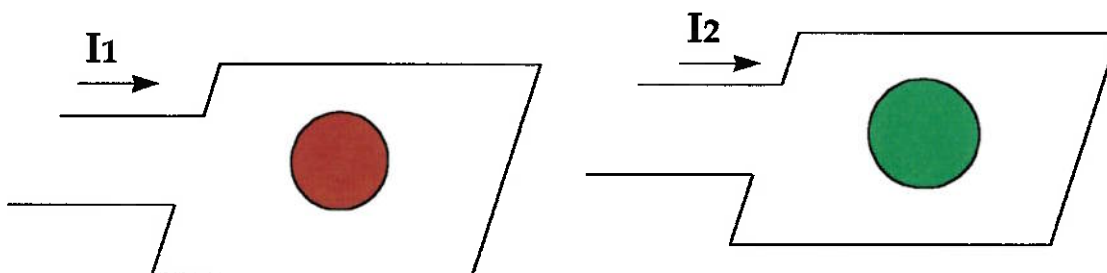


Figura 6 - Esquema Ilustrativo da Solução Magnética

Assim como nas demais soluções eletro-eletrônicas, esta solução faz apenas a identificação do tipo de moeda, sendo necessário o desenvolvimento de um mecanismo para a classificação, com a presença de atuadores.

2.2.6. Solução 6 - Sensor especializado em identificação de moeda²

O mercado brasileiro e mundial já possui muitas soluções para identificação de moedas em *Vending Machines*, sendo que são muitos os fabricantes de moedeiros. Pelo menos três fabricantes dos moedeiros mais conceituados do mercado internacional, como a Coinco, Scan Coin e a Mars, utilizam-se de um mesmo sensor eletrônico.

² Fonte: Sr. Sérgio da Tok Take Vending Systems do Brasil Ltda.

Este sensor mede 5 características da moeda: diâmetro, espessura e 3 características do material, dentre elas a permeabilidade e a indutância. Como este sensor é utilizado diretamente com o consumidor, necessita além da verificação do tipo de moeda, provar a autenticidade das mesmas, assim, a necessidade de verificar 5 características da moeda. Esta verificação não se faz necessária neste projeto, porém se feita, também não implica em maiores complicações, que não sejam de custos.

Este sensor assim como as demais soluções eletrônicas, apenas identifica o tipo de moeda, requerendo um mecanismo classificador. No caso dos moedeiro da Coinco, existe um mecanismo que utiliza 2 motores de corrente contínua para a classificação de 4 tipos de moedas. Este sensor é vendido exclusivamente para os fabricantes de moedeiros de renome e custa em torno de R\$1.000,00.

2.2.7. Matriz de Decisão

A escolha correta da solução a ser adotada é um fator decisivo no desempenho de equipamento e na sua confiabilidade. Assim, deve-se determinar as características requeridas do modelo e o seu grau de importância. A partir deste levantamento pode-se avaliar as soluções levantadas e fazer uma escolha com maior segurança, como foi feito no sistema de separação.

Foram escolhidas algumas características que são rapidamente explicadas abaixo:

Complexidade: a simplicidade do projeto, está diretamente ligada a facilidade de construção, que é um fator decisivo. A complexidade de um projeto e, conseqüentemente, de sua construção estão diretamente relacionada com o custo, que

por sua vez deve ser baixo para permitir que o produto tenha uma campo no mercado de automação comercial. Atribui-se peso 1.

Custo: este tópico é muito importante, pois o seu custo é decisivo na decisão de continuidade de projeto ou não. Por exemplo, não adianta seguir o projeto, se a solução escolhida não permitirá tornar o produto competitivo no mercado de automação industrial.

É claro, que a análise feita nesta etapa do projeto é bastante qualitativa e baseia-se muito no preço de atuadores e pouco no preço de construção de peças. Isto deve-se ao fato de estar se desenvolvendo um produto de larga escala de produção, onde poderá estar de produzindo peças injetadas, por exemplo, a baixíssimo custo, enquanto que os atuadores mesmo em larga escala possuem preço mínimo de mercado.

Como este fator é decisivo na justificativa do projeto, atribuiu-se peso 3.

Tamanho: este fator deve ser levado em consideração com muita atenção, pois este produto será colocado em locais visíveis ao público e com espaço reduzido.

O primeiro aspecto, significa que nenhum comerciante colocará em seu estabelecimento comercial um equipamento, por mais útil que ele seja, que pareça um trambolho. Assim sendo, faz-se necessário que o SCAM seja o menor possível e, conseqüentemente, o mecanismo de separação também seja o menor possível.

O segundo aspecto do tamanho refere-se ao espaço reduzido disponível nos estabelecimentos comerciais. Uma vez que os estabelecimentos comerciais já estão

construídos e com espaço do caixa não muito maior do que o estritamente necessário, não se dispõe de uma área muito grande para a colocação do SCAM, assim o quanto menor, mais fácil de poder ser instalado um nos estabelecimentos comerciais atuais.

Devido a importância deste fator, foi-lhe atribuído peso 3.

Precisão: como optou-se pela identificação do tipo de moeda através do critério diâmetro, de acordo com estudo feito sobre as características das moedas brasileiras, o SCAM deve ser capaz de identificar diferenças de comprimento da ordem de décimos de milímetros. No caso mais crítico (moeda de 25centavos e as imediatamente maior e menor, respectivamente, 1 real e 50 centavos) a diferença de diâmetros nominal é de 0,5mm e considerando sua imprecisão de fabricação máxima de 0,2mm., o classificador deverá ter capacidade de identificar diferenças da ordem de 1 décimo de milímetro. A esta característica atribuiu-se peso 2.

Eficiência: é uma característica estimada a partir de índices de resultados de testes, no caso da classificação de moedas poderia ser porcentagens de classificação errada ou de rejeição de moeda (não classificada em nenhum tipo). Como, é claro, não foi possível fazer testes de todas as soluções propostas, este fator estará sendo avaliado de forma mais qualitativa e de análise de comportamento a partir da teoria que embasa a solução avaliada.

Tabela 2 - Matriz de Decisão do Sistema de Classificação

Característica	Peso	Solução	Solução	Solução	Solução	Solução	Solução
		1	2	3	4	5	6
Complexidade	1	5 / 5	4 / 4	2 / 2	3 / 3	2 / 2	3 / 3
Custo	3	5 / 15	4 / 12	3 / 9	1 / 3	3 / 9	1 / 3
Tamanho	3	1 / 3	5 / 15	4 / 12	3 / 9	3 / 9	3 / 9
Precisão	2	4 / 8	4 / 8	2 / 4	5 / 10	2 / 4	5 / 10
Eficiência	1	4 / 4	4 / 4	3 / 3	4 / 4	3 / 3	5 / 5
Total		35	43	34	29	27	30

Como esta avaliação não é totalmente confiável, apesar de muito importante, atribuiu-se peso 1.

2.2.8. Análise das Soluções

2.2.8.1. Análise das Solução 1 - Rampa com anteparas

A rampa com anteparas é uma solução de relativa simplicidade de construção, por tratar-se apenas de uma guia com uma inclinação e algumas anteparas. A precisão da classificação é função apenas da precisão mecânica de construção das anteparas e da precisão do posicionamento das anteparas relativamente a rampa.

Assim, não requisita alta precisão de fabricação em todas as peças, possui poucas peças e estas podem ser obtidas a partir de pouquíssima usinagem do material bruto, além de não requerer acionadores. Portanto o seu custo de fabricação é baixo.

Quanto ao seu tamanho, o mecanismo de separação seria estreito, porém muito longo, pois necessita de um espaço entre cada uma das anteparas, além do espaço que elas mesmas ocupam por serem seis.

2.2.8.2. Análise da Solução 2 - Rampa em hélice com rasgos

A idéia desta solução é aprimorar o fator que acabou excluindo a solução anterior, o tamanho. A maneira que se encontrou de fazer isto foi fazendo uma rampa em hélice, o que faz com que todo o comprimento exagerado fique distribuído perimetralmente, levando a um equipamento mais compacto. Assim, sendo o seu desempenho em termos de tamanho é muito bom.

Mas é claro, como nada é perfeito, ao aprimorar uma característica, perde-se em outras. No caso, a complexidade de construção aumentou, principalmente para a construção de um protótipo artesanalmente, já no caso de uma produção seriada, isto não terá grande peso, pois pode-se produzir a hélice com injeção de plástico. Assim sendo, a complexidade e o custo aumentaram. Vale destacar que esta solução não requer acionadores, que em geral são o maior custo de fabricação em larga escala.

Assim como a solução anterior, a precisão do sistema é função apenas da precisão de construção dos rasgos.

2.2.8.3. Análise da Solução 3 - Fotossensores:

Esta solução tem um projeto mecânico muito simples na identificação do tipo da moeda, apenas a fixação dos sensores e um mecanismo de posicionamento da moeda. Porém, exige o desenvolvimento de um mecanismo complementar com presença de atuadores para a classificação propriamente dita e de uma solução eletrônica complementar para comparação de nível de sinal e controle dos atuadores.

Assim, apesar da parte de identificação avaliada ser muito simples, o sistema de direcionamento da moeda para o local correto de armazenagem e a parte eletrônica são um pouco mais complexas, levando a avaliação da característica complexidade a uma nota 2. Pode-se considerar a solução compacta, pois seu tamanho deve-se em grande parte ao o sistema de direcionamento da moeda para os tubos de armazenagem.

O custo da solução é função praticamente exclusiva do mecanismo de direcionamento da moeda para o local correto de armazenagem e a parte eletrônica, pois os fotossensores são extremamente baratos.

Para obtenção de medições precisas é necessário uma alta sensibilidade do sensor e um sistema comparador de mesma sensibilidade, de modo a detectar pequenas diferenças de tensão. Esta análise não é muito fácil de ser obtida com sucesso e requer uma elaborada placa de tratamento dos sinais emitidos pelo sensor. A sua eficiência está diretamente ligada a precisão conseguida com o tratamento do sinal do sensor e na sua comparação, além do tempo de processamento necessário para tal análise.

2.2.8.4. Análise da Solução 4 - Sensor da Omron

Esta solução tem um projeto mecânico muito simples na identificação do tipo da moeda, apenas a fixação do sensor e o posicionamento da moeda e mais simples ainda na parte eletrônica, uma vez que o sensor já trata o sinal, enviando a dimensão da moeda para um PC, por exemplo. Assim, só resta o controle dos atuadores que estão presentes no mecanismo de classificação propriamente dito, que é a única parte um pouco complexa da solução. Por tanto, o nível de complexidade desta solução é baixíssimo.

Apesar da simplicidade da solução, o sensor da Omron é caro para o custo estimado do projeto. Pode-se considerar a solução compacta, pois seu tamanho deve-se praticamente ao o sistema de direcionamento da moeda para os tubos de armazenagem.

O sensor proporciona medições com precisão dentro da especificação do projeto, podendo ser considerada satisfatória a sua precisão e, conseqüentemente, a sua eficiência.

2.2.8.5. Análise da solução 5 - Magnética

Esta solução tem um projeto mecânico muito simples na identificação do tipo da moeda, apenas a espira e um mecanismo de movimentação da moeda. Porém, requer um mecanismo com presença de atuadores para a classificação propriamente dita, além de uma solução eletrônica complementar para comparação de nível de corrente e controle dos atuadores.

Assim, apesar da parte de identificação avaliada ser muito simples, o sistema de direcionamento da moeda para o local correto de armazenagem e a parte eletrônica são

um pouco mais complexos. Pode-se considerar a solução compacta, pois seu tamanho deve-se em grande parte ao o sistema de direcionamento da moeda para a região correta de armazenagem.

Quanto ao custo da solução depende em grande parte do custo do mecanismo de direcionamento da moeda para o local correto de armazenagem e da parte eletrônica, pois a espira é barata.

Para obtenção de medições precisas é necessário a construção de uma espira, que gere um campo magnético bem sensível a presença de materiais ferromagnéticos e um sistema comparador de corrente de mesma sensibilidade, de modo a detectar pequenas diferenças de corrente. Esta análise deve ser feita cuidadosamente para garantir o sucesso. Com relação a sua eficiência, ela está diretamente ligada a precisão conseguida na comparação da corrente e na sua sensibilidade de variação.

2.2.8.6. Análise da Solução 6 - Sensor especializado na identificação de moedas

Esta solução é muito parecida com a solução do sensor da Omron, por se tratar da compra de um pacote fechado, que já mostra o resultado, assim esta solução também tem um projeto mecânico muito simples na identificação do tipo da moeda, apenas a fixação do sensor e mais simples ainda na parte eletrônica, uma vez que o sensor já trata os sinais, enviando o tipo da moeda para um PC, por exemplo. Assim, só resta o controle dos atuadores que estão presentes no mecanismo de classificação propriamente dito, que é a única parte com alguma complexidade.

Pode-se considerar a solução compacta, pois seu tamanho deve-se praticamente ao o sistema de direcionamento da moeda para os tubos de armazenagem.

Apesar da simplicidade da solução, este sensor é muito caro, pois também desempenha a função de verificação da autenticidade da moeda, o que não se faz necessário neste projeto.

O sensor é muito preciso e de eficiência consagrada mundialmente.

Portanto, da matriz de decisão identificou-se a Solução 2 - Rampa em Hélice com Rasgos, como a melhor solução para satisfazer as propriedades desejadas do Sistema de Classificação.

3. Projeto Básico

3.1. Sistema de Separação

Algumas especificações devem ser feitas para garantir o desenvolvimento de um projeto básico convergente para uma solução viável:

Diâmetro dos Rasgos: os rasgos devem ter os seus diâmetros de modo a permitir que apenas uma moeda, qualquer que seja o seu tipo, caiba em seu interior.

O diâmetro da menor (moeda de 1 centavo de Real) é de 15mm.e o diâmetro da maior moeda (moeda de 1 Real) é de 20mm., portanto o diâmetro do rasgo deve estar na faixa de 20 a 30mm.. especifica-se um valor intermediário na faixa de 25mm..

Número de rasgos da Roda: Definiu-se quatro rasgos circulares situados perimetralmente e com defasagem de 90° entre eles.

Espessura da Roda: a roda deve ter uma espessura que garanta que apenas uma moeda está sendo conduzida pelo rasgo.

A espessura nominal das moedas é de 1.4mm., assim a roda deverá ter 1.20mm ou 1/20” de acordo com o material disponível no mercado.

Posição da Roda: a posição da roda separadora deve ser vertical suficientemente para garantir que todas as moedas sejam conduzidas para a sua parte inferior, onde serão coletadas. Esta condição é essencial para garantir que todas as moedas sejam separadas. Estima-se um ângulo de inclinação máximo de 45° com relação a gravidade.

Por outro lado, para garantir que apenas uma moeda passe por vez para a próxima etapa (classificação), esta deve cair da roda em uma posição em que não esteja em contato com as moedas que não foram conduzidas ainda - estão na região de entrada. Portanto o número máximo de moedas a serem inseridas na SCAM simultaneamente foi limitado em 25 e apenas quando o rasgo estiver na posição superior da roda é que a moeda deve cair da roda.

Acionamento da Roda: a roda deverá ser rotacionada por um motor³ enquanto ainda existirem moedas na entrada, pois o princípio de funcionamento do mecanismo parte do pré-suposto que uma vez a moeda situada na região de entrada, esta será conduzida pela roda ao sistema de classificação, mesmo que para isto a roda precise percorrer vários ciclos de rotação completos. Teoricamente, apenas ¼ de ciclo seria suficiente para pegar

³ O tipo de motor será escolhido na etapa de Escolha dos acionadores do projeto - Trabalho Complementar a este de Paulo Marcelo Porto Alves Blanco.

a moeda e mais $\frac{1}{2}$ ciclo para conduzi-la a região de classificação. Assim, na teoria, uma rotação de 360° seria mais do que suficiente para pegar uma moeda.

O acionamento do motor será feito a partir de um sinal de um sensor identificador de moedas. Por exemplo, enquanto existirem moedas o sensor manda um sinal com nível lógico 1, o que significaria um ON para o motor. Quando terminarem as moedas, o sensor envia um sinal com nível lógico 0, o que significaria OFF para o motor.

Posição do sensor: o sensor identificador da presença de moedas deve situar-se no local onde todas as moedas fiquem “armazenadas” ao serem inseridas na SCAM, mesmo se for inserida apenas 1 moeda ou no caso de restar apenas 1 moeda. Portanto, deve ficar na parte inferior da roda.

Os desenhos de fabricação da roda com rasgos e da base colocada atrás desta encontram-se no Anexo 1. A fixação da base na estrutura externa, será feita provavelmente com alguma peça simples de suporte e fixado com adesivo. O acoplamento da roda com rasgos no motor será desenvolvido após a escolha do motor.

3.1.1. Sistema de Classificação

Algumas considerações preliminares devem ser feitas para garantir o desenvolvimento de um projeto básico convergente para uma solução viável. Estas estarão subdivididas em características da rampa, dos rasgos e dos sensores.

3.1.2. Rampa

Perfil da Rampa: a rampa deve ter um perfil em L inclinado, de modo a garantir que a moeda esteja sempre encostada na sua parede - condição necessária para garantir que a moeda tenha seu diâmetro medido corretamente. Estimou-se, assim, um ângulo de inclinação de 15° .

Como a moeda está rolando sobre a guia, pode-se considerar o atrito desprezível.



Figura 7 - Perfil da Rampa

Diâmetro da Rampa: estimou-se um diâmetro da rampa de 130mm., de modo a caber dentro da estrutura externa que ficou especificada em 150mm de diâmetro, conforme especificado no próximo item.

Ângulo de Inclinação da Rampa: estimou-se um ângulo em torno de 15° também, assim, como o perímetro de um tubo com secção circular de 130mm de diâmetro é de aproximadamente 408mm, para um passo de 100mm, obteria-se uma inclinação com $13,8^\circ$ e, conseqüentemente, um comprimento de rampa de 420mm..

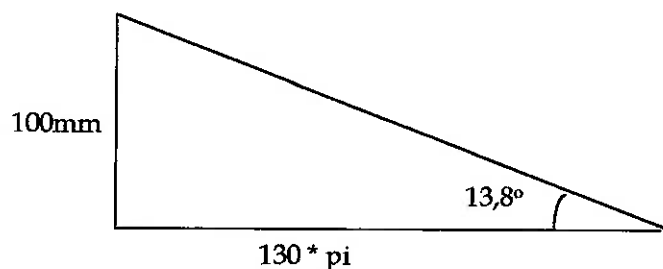


Figura 8 - Esquema Planificado da Rampa em Hélice

Esta inclinação está diretamente ligada com o comprimento do rasgo, como será especificado logo a seguir.

Passo: 100mm

3.1.3. Rasgos

Um correto dimensionamento dos rasgos é vital na garantia da eficiência e da confiabilidade do SCAM.

Largura dos Rasgos:

Fez-se necessária uma análise do comportamento da moeda, para estipular-se o comprimento do rasgo mínimo para garantir que a moeda caia no seu rasgo.

O cálculo foi efetuado para a situação mais crítica, a de maior velocidade e para a maior moeda, conforme mostrado no Anexo 2. Obteve-se o comprimento mínimo de rasgo de $D_{MOEDA} + 3,6\text{mm}$.

Ângulo entre os Rasgos: estipulou-se que os tubos de armazenagem estivessem dispostos em 180° de maneira equiangular; portanto, com ângulo de 36° entre os rasgos.

Altura dos Rasgos: os rasgos devem ter uma medida que garanta que 99,5% das moedas de um determinado tipo tenham o diâmetro menor que o valo estipulado. Baseado no estudo estatístico feito nas moedas brasileiras pode-se obter os seguintes valores:

Tabela 3 - Altura dos Rasgos

Moeda	Altura do Rasgo
R\$ 0,01	20.08 mm
R\$ 0,05	21.10 mm
R\$ 0,10	22.14 mm
R\$ 0,25	23.64 mm
R\$ 0,50	23.05 mm
R\$ 1,00	23.85 mm

Estes rasgos devem ser construídos com uma precisão de centésimos de milímetros, pois a sua precisão está diretamente relacionada com a confiabilidade do sistema.

3.1.4. Posicionamento dos Tubos

Os tubos não devem estar posicionados imediatamente em baixo dos rasgos, exatamente devido ao fato das moedas estarem em movimento e possuírem uma inércia. Assim sendo

seria conveniente algumas experimentações para determinação da posição ideal dos mesmos⁴.

3.1.5. Sensores

Existem duas possibilidades básicas de posicionamento dos sensores de contagem de moedas:

1. Um sensor na entrada de cada tubo: contagem após a classificação - cada sensor conta ou melhor, identifica a presença de um tipo de moeda;
2. Um sensor antes de cada rasgo: contagem de quantas moedas passaram em cada sensor e com uma lógica simples de diferenças pode-se detectar onde caíram as moedas e a quantidade.

As duas opções são viáveis, porém optou-se pela 2ª opção, por a moeda estar sendo contada em uma situação em que o seu movimento está mais controlado e definido. Quando a moeda está na rampa ela está rolando praticamente de uma forma previsível e regular, enquanto que no início da sua queda, ela pode ter um comportamento estranho e imprevisível que pode gerar um sinal duvidoso no sensor.

Outro fator, é que pode-se fazer algum tipo de checagem de sinais, por exemplo, uma moeda de 50 centavos deveria estar acionando um sinal em 4 sensores. Caso receba sinal de apenas 3 sensores (não consecutivos) pode-se detectar um problema de controle.

⁴ Este aspecto será abordado também no tópico estrutura externa.

Portanto, apesar da 2ª opção ser um pouco mais complicada, exigir alguma lógica, é garantidamente mais segura e será adotada.

3.1.6. Desenhos

O desenho da rampa encontra-se no Anexo 3. Quanto a fixação da rampa na estrutura externa, ainda não foram definidas as peças suportes.

3.2. Estrutura Externa

A estrutura externa consiste basicamente em um tubo com base (copo), com alguns rasgos na lateral, serão posicionados os tubos de armazenagem. Estes rasgos tem a função de facilitar a retirada de moedas dos tubos de armazenagem, em caso de necessidade.

Estes rasgos foram feitos com certa folga de modo a possibilitar um posicionamento mais preciso dos tubos após os testes.

Será nesta estrutura externa que serão fixados os quatro sistemas da SCAM(separação, classificação, armazenagem e emissão de troco).

O desenho da estrutura externa encontra-se no Anexo 4.

4. Construção do Sistema Classificador de Moedas

Para construir a rampa em hélice fez-se uma discretização da rampa de modo a facilitar a sua planificação. A partir disto, cortou-se as duas partes da rampa de uma placa de poliestireno de 1mm de espessura, e depois de arredondá-la, colou-se as duas metades.

Na primeira metade, onde a moeda corre encostada, cortou-se os 6 rasgos. A outra serviu apenas como base para a moeda rolar em cima.

A precisão dos rasgos tem importância única no desempenho do SCAM, uma vez que é ela que garante que a classificação está sendo correta, o que afeta a contagem e o troco, também. Assim, como a diferença de tamanho entre os rasgos de tamanho mais próximo, deve ser da ordem de 0.2mm e a precisão $\pm 0,05\text{mm}$, o que não conseguiu-se construir em um arco de circunferência, mas o que plenamente possível de construir com ferramentas mais adequadas do que um estilete. Assim, o protótipo funcionará apenas para as moedas de 1, 10, 50 centavos e 1 Real, o que é suficiente para garantir a generalidade para as demais moedas e provar que o método é eficiente.

4.1. Testes do Sistema Classificador de Moedas

Foram jogadas 400 moedas, sendo que nenhuma foi classificada erradamente, assim pode-se estimar que a precisão do protótipo é de aproximadamente 0,25%. Considerando-se que pode-se construir o produto com maior precisão do que o protótipo, de uma forma não artesanal, poderá, também, garantir uma maior eficiência.

Capítulo 3 - Parte Eletrônica

1. Especificações

1.1. Fonte

Uma vez que foram escolhidos e especificados os atuadores e sensores eletrônicos, fez-se necessário uma fonte de corrente contínua para alimentá-los, com as seguintes características:

Construtivas:

Ser compacta, de modo a caber dentro do SCAM, o qual admite dimensões máximas de $\phi 120 \times 50$ mm. Outra opção é a fonte ser externa ao SCAM, devendo estar interna à caixa registradora, que no caso do protótipo será representada pelo PC.

Disponibilidade de Energia Elétrica:

Esta fonte deverá ser ligada a corrente elétrica usual em São Paulo, 110 Volts e 60Hz.

Exigências dos Atuadores/Sensores

- *Hardware* dos Sensores: fonte de 5V
- Motor de CC: fonte de 12V
- Motor de Passo: fonte de 12V
- Solenóide: fonte de 24V

1.2. Software

Tanto a interface com o usuário da SCAM, quanto o controle dos seus atuadores e sensores deverá ser feita via *software*. No caso do protótipo, o *software* deverá ser executado no PC e utilizará o seu como interface com o usuário.

Assim, serão necessárias algumas especificações, as quais o *software* deverá satisfazer:

Interface com o usuário

A interface deverá ser o mais amigável possível, permitindo ao usuário no mínimo três grandes funções: armazenar moedas, retirar moedas (troco) e identificar o saldo disponível, como mostra a figura:

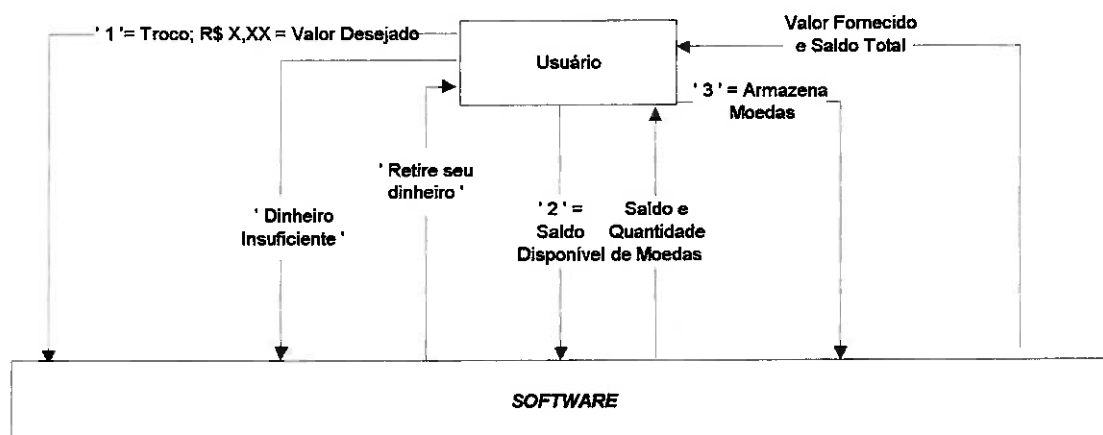


Figura 9 - Especificação das funções do software

A primeira, armazenar moedas, além de classificar e contar as moedas que foram jogadas na última inserção, deverá mostrar no monitor do computador o valor total inserido e o valor total armazenado, ambos em Reais.

A segunda, retirar moedas, consistirá em o usuário solicitar um valor em Reais e o *software* identificar quais moedas devem ser entregues ao usuário. Caso não exista saldo disponível ou combinação de moedas possível, o *software* deverá enviar mensagem de erro.

Por fim, o balanço do dinheiro armazenado também deve poder ser feito a qualquer momento. Vale lembrar, que é essencial que o *software* registre em algum lugar a quantidade de moedas armazenadas quando o *software* for finalizado, pois a única maneira de inserir ou retirar moedas da SCAM é pelos mecanismos descritos anteriormente, fazendo com que tenha-se total controle das moedas armazenadas.

Estrutura do *software*

O *software* deverá ser escrito de forma modular, de modo a facilitar o entendimento e a construção de sua estrutura.

Controle dos atuadores e sensores⁵:

- O sinal proveniente do *hardware* dos sensores, estará sendo adquirido através da entrada digital da placa de I/O que trabalhará como interface entre o *hardware* e o *software*. Portanto, o *software* deverá efetuar varreduras temporárias, de modo a identificar a presença de moedas.
- O acionamento do motor de corrente contínua será feito em malha aberta através das saídas analógicas da placa de I/O, onde o acionamento será feito com reles.

⁵ Ver trabalho complementar a este, do aluno Paulo Marcelo P. Alves Blanco

-
- O controle do motor de passo também será feito em malha aberta, sendo comandado pela porta paralela do PC, onde serão utilizados 4 bits para controle da energização das 4 bobinas. O tipo de controle deverá ser *Single Coil Excitation*.
 - O acionamento do solenóide será feito analogamente ao motor de corrente contínua, através de um relê da placa de I/O.

Leitura da entrada de I/O da Placa digital

A placa digital possui 8 entradas analógicas, das quais só serão utilizadas 7. A primeira para entrada do sensor de presença e as demais para os sensores de contagem de moedas. A cada entrada digital estará associado um 1 ou 0, no caso dos sensores de interrupção escolhidos, um 1 indica ausência de moeda e um 0 presença de moeda. A placa de I/O efetua a leitura de todas as portas simultaneamente e codifica em um número em hexadecimal. Assim, o *software* deverá após a leitura do número em hexadecimal, fazer o desacoplamento dos 7 sinais e interpretá-los.

Funcionamento do SCAM:

Enquanto o sinal do sensor de presença indicar a presença de uma moeda, o *software* deverá manter o motor de corrente contínua ligado, de modo a acionar o sistema de separação de moedas e conduzi-las ao sistema de classificação e contagem. A partir deste momento deverão ser feita a contagem do número de moedas que passa por cada um dos sensores.

Quanto ao módulo de troco, este deverá controlar seqüencialmente o motor de passo e o solenóide. Baseando-se na distribuição espacial dos tubos, pode-se obter o número de passos que este deve ser acionado: seis tubos dispostos em meia circunferência, com uma distância angular de 36° entre dois tubos consecutivos e sabendo-se que o passo do motor é $1,8^\circ$, deverão ser percorridos 20 passos entre dois tubos consecutivos. Quanto ao solenóide, deverá ser acionado N vezes em cada uma das 6 posição, onde N é o número de moedas a ser entregues ao usuário de um determinado tipo. O tempo de uma rotação completa do motor deverá ser em torno de 2 segundos e este deverá poder girar tanto no sentido horário, quanto no anti-horário.

2. Escolha e Desenvolvimento

2.1. Fonte

As dimensões máximas permitidas para a instalação da fonte internamente à SCAM e a necessidade de tensões contínuas de 5 , 12 e 24V a partir de tensão alternada em 110V, requerem um projeto de uma fonte especial para a SCAM. Por uma questão de facilidade e redução de custos, decidiu-se utilizar a própria fonte do PC, a qual é totalmente satisfatória para os acionadores e sensores.

2.2. Software

O *software* fará interface com a porta paralela do PC, com a placa de I/O e com o usuário, diretamente e com os sensores e atuadores, indiretamente, como mostra o esquema à seguir:

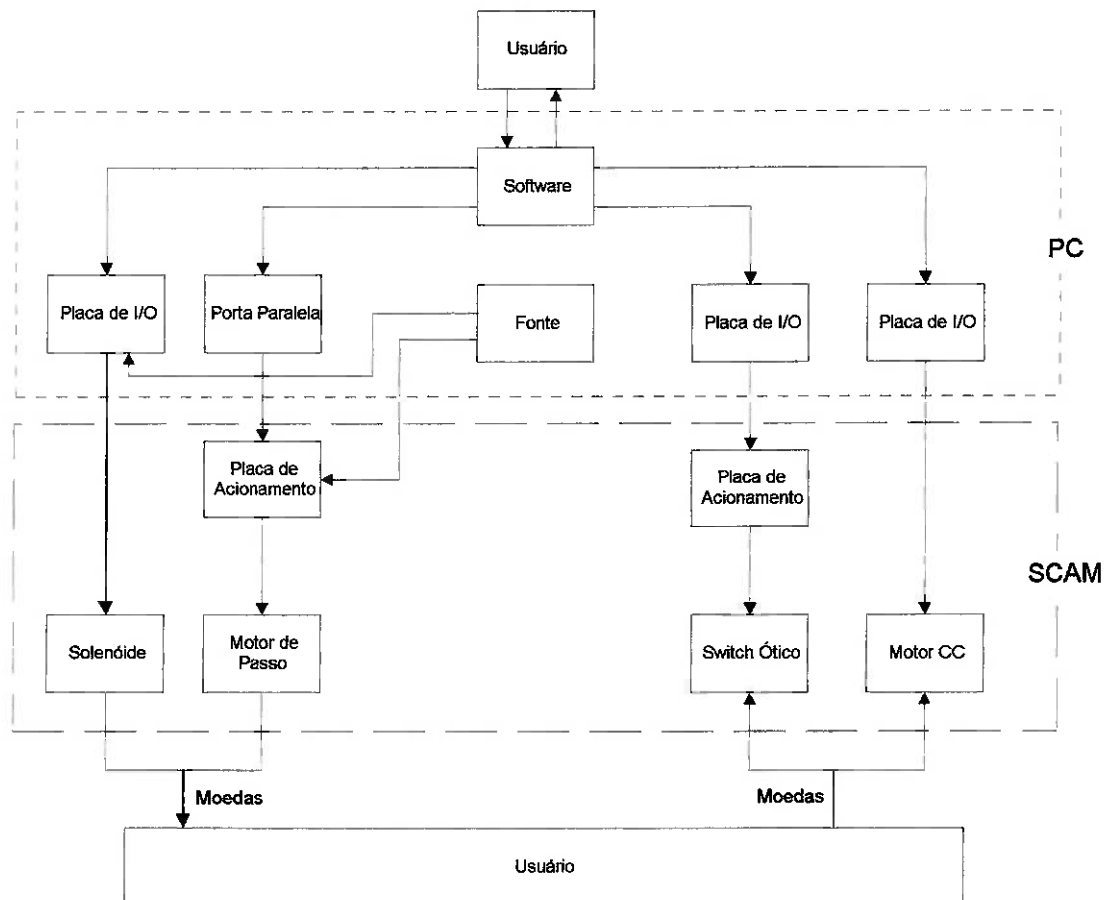


Figura 10 - Estrutura da SCAM

Decidiu-se fazer o *software* em Pascal e estruturá-lo em um Programa Principal e duas *Units* ou módulos, uma para o acionamento do motor de passo e solenóide (emissão do troco) e a outra para acionamento do motor de corrente contínua e leitura dos sensores (separação e contagem de moedas).

2.2.1. Programa Principal

O programa principal é responsável pela interface com o usuário, mostrando uma tela que permite 4 opções: Balanço do caixa, Troco, Entrada de Moedas e Fim.

Assim, caso o usuário opte pela opção balanço do caixa, o computador informará o número de moedas de cada tipo armazenadas e o total em Reais.

Na segunda opção, o usuário diz o quanto deseja receber de troco e o programa principal faz três verificações:

- Inicialmente, verifica se existem moedas armazenadas, no caso negativo, ele avisa “Não existem moedas armazenadas”;
- Caso a primeira condição seja satisfeita, verifica-se se existe “saldo” disponível; em caso negativo avisa não existirem moedas suficientes para o troco;
- Numa terceira etapa, sabendo que existe dinheiro suficiente, verifica-se a existência de alguma combinação de moedas que satisfaça o valor desejado; em caso negativo, o *software* informa não existir combinação correta para o troco.

Por fim, sabendo-se que é possível emitir o troco, precisa-se avaliar quantas moedas de cada tipo deverão ser entregues ao usuário. Como, muitas vezes existe mais de uma combinação possível, fez-se necessário o estabelecimento de um critério de escolha.

Critério para escolha das moedas no troco:

No caso de mais de uma opção de combinações de moedas para o troco, o computador optará pela de menor número de moedas. Isto significa, enviar como troco preferencialmente as moedas de maior valor e manter armazenadas as moedas de menor valor. Existem algumas razões para tal procedimento, primeiramente a capacidade de armazenamento de moedas de menor valor na SCAM é maior, sendo assim conveniente

priorizar o esvaziamento dos tubos de menor capacidade, de modo a evitar que estes transbordem (situação que não está sendo prevista neste estudo). Outro fator importante é que mantendo-se as moedas de menor valor em estoque, tem-se uma maior versatilidade de troco. Por fim não pode-se desprezar que o usuário não gosta de receber muitas moedas de troco, dando preferência a receber o menor número de moedas possível.

Determinada a combinação de moedas que deve ser fornecida como troco, o Programa Principal chama o módulo de controle do motor de passo/solenóide, o qual realiza o troco. Ao retornar ao Programa Principal, após a emissão das moedas, este avisa para retirar as moedas e o saldo ainda disponível.

Quando a terceira opção - entrada de moedas - é solicitada pelo usuário, o *software* imediatamente transfere para o módulo de leitura dos sensores, o qual identifica a presença de moedas, aciona o motor de corrente contínua e conta as moedas que passam pelos sensores. Ao retornar para o Programa Principal, envia o número de moedas que passou por cada sensor de contagem. Caso não seja detectada nenhuma moeda pelos sensores de presença, o programa principal envia uma mensagem de erro. Caso contrário, o programa principal calcula quantas moedas de cada tipo entraram na SCAM e atualiza o saldo disponível. Estas duas últimas informações são mostradas ao usuário, também. Cabe ressaltar, que se programa principal não estiver dentro desta opção (entrada de moedas), mesmo que o usuário jogue moedas, a SCAM não as classificará.

Uma vez que os sensores estão dispostos na rampa, e não nos tubos, estes contam todas as moedas que passam por eles, como mostra a figura abaixo:

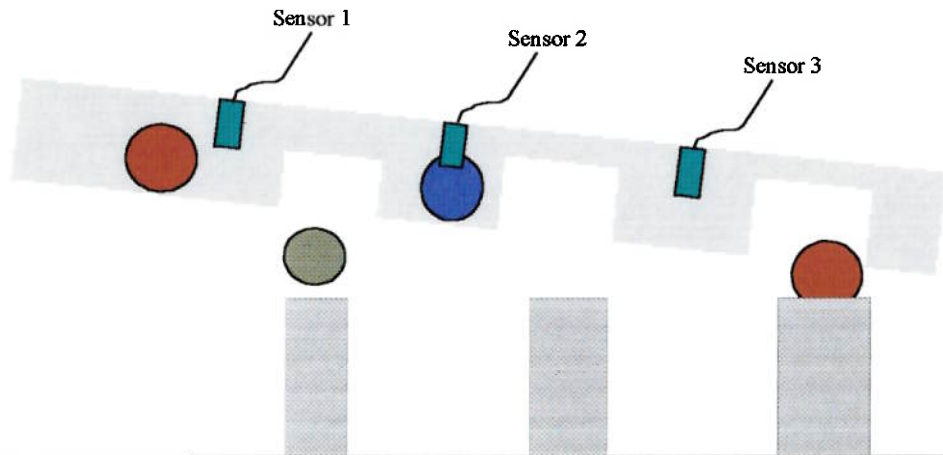


Figura 11 - Disposição dos Sensores na Rampa

Sendo assim, é necessária uma lógica simples para a identificação de quantas moedas de cada tipo entraram na SCAM. O número de moedas vermelhas é igual ao número de moedas identificadas pelo sensor 3, o número de moedas azuis, igual ao número de moedas lidas pelo sensor 2 menos o número de moedas lidas pelo sensor 3; analogamente para as moedas cinzas, o número de moedas identificadas pelo sensor 1 menos o número de moedas lidas pelo sensor 2.

A opção saída, salva quantas moedas de cada tipo existem armazenadas na SCAM e a posição do motor de passo em um arquivo texto e sai do programa. Todas as vezes que re-inicializar o programa, o *software* lerá o conteúdo deste arquivo texto. O arquivo texto tem um formato padronizado, escrevendo na primeira linha o número de moedas de 1 centavo, na segunda linha de 5 centavos, até 1 Real. Numa sétima linha, escreverá a

posição do motor de passo, q qual será “1”, caso o motor de passo esteja na direção do tubo de moedas de 1 centavo ou “6”, na direção do tubo de moedas de 1 Real.

Toda esta estrutura pode ser visualizada mais facilmente no esquema abaixo:

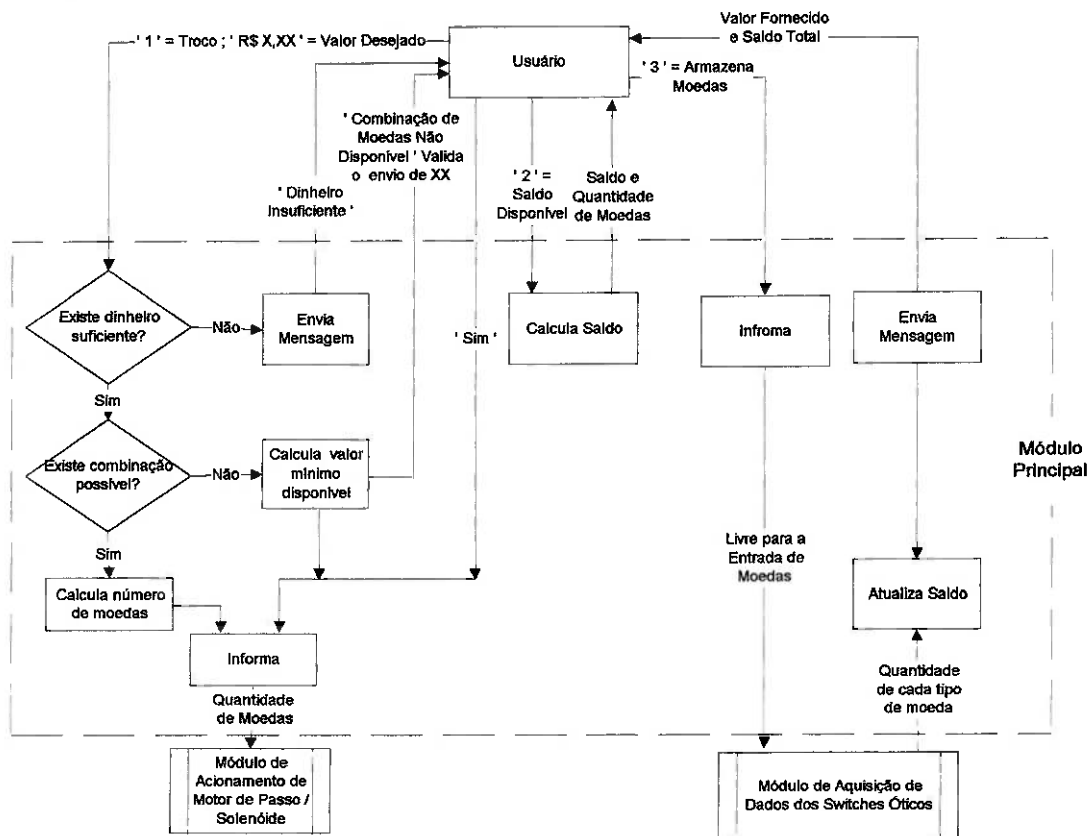


Figura 12 - Estrutura do Programa Principal

2.2.2. Módulo de Acionamento do Motor de Passo / Solenóide

O módulo de Acionamento do Motor de Passo / Solenóide já recebe do Programa principal o número de moedas a serem enviadas por valor, assim este módulo basicamente controla o motor e o solenóide. Como o motor de passo pode estar parado em mais de um ponto e o sistema é de malha aberta, existe uma variável que armazena a

posição do motor. Esta posição, também é armazenada no arquivo texto, quando finalizado o *software*. Tal módulo pode ser explicado pelo próxima figura:

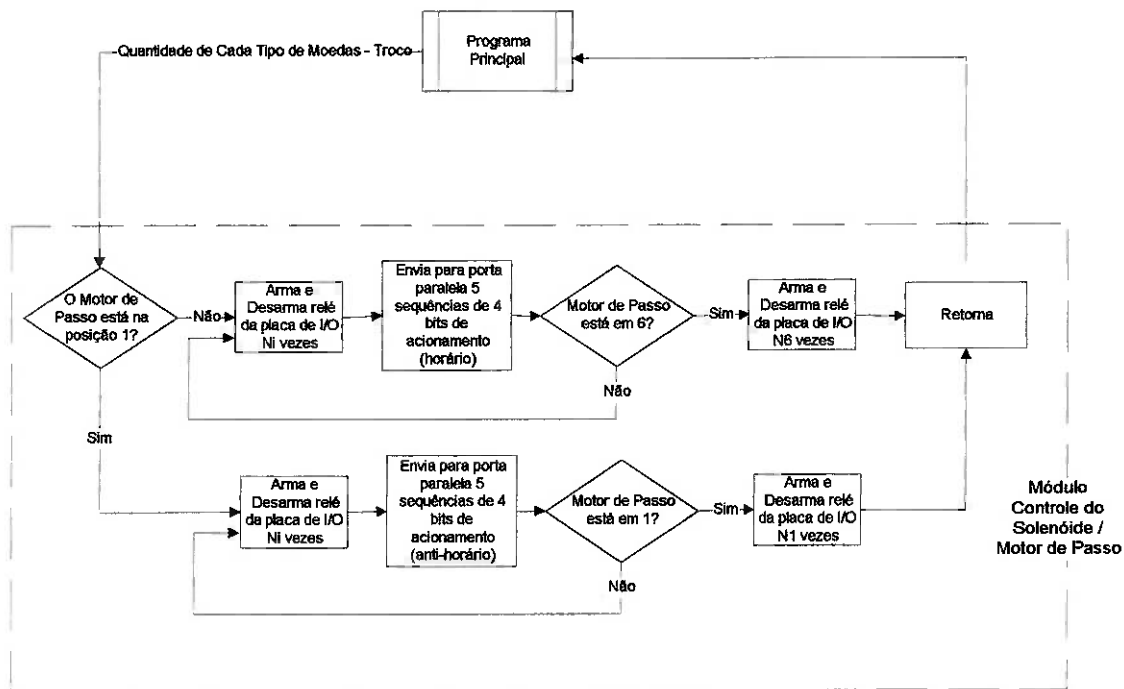


Figura 13 - Módulo de Acionamento de Motor de Passo / Solenóide

De acordo com a figura acima, pode-se identificar que a lógica de controle do motor de passo e do solenóide é muito simples, consistindo apenas em posicionar o motor de passo em frente a cada tubo e o acionar o solenóide um número de vezes igual ao número de moedas que deve ser enviado como troco.

Definição dos parâmetros de controle do Motor de Passo

De acordo com as especificações, o controle do motor de passo deve ser do tipo *Single Coil Excitation* o que significa energizar uma bobina por vez sequencialmente.

O controle de energização de cada bobina será feito por um bit da porta paralela, assim escolheu-se os primeiros 4 bits para o controle. Quando envia-se 1 para o bit 2, significa para energizar a bobina 2; caso seja enviado 0, significa não energizar a bobina. Assim, para energizar a 4ª bobina, utiliza-se por exemplo comando `port[OUTREG]:=$x8`; onde \$x8 está em hexadecimal ou `xxxx1000` em binário. Para energizar as demais bobinas utilizou-se `x4h = xxxx0100b`, `x2h = xxxx0010b` e `x1h = xxxx0001b`. Para desenergizar todas as bobinas utilizou-se `x0h = xxxx0000b`.

O sentido de rotação do motor também é determinado via *software*, através da seqüência de bobinas energizadas. No caso, como as bobinas estão ligadas seqüencialmente nos bits da porta paralela, para rotacionar no sentido horário basta energizar seqüencialmente os bits 1, 2, 3 e 4 e para o sentido anti-horário, os bits 4, 3, 2 e 1.

A velocidade também é determinada via *software*, colocando-se um tempo de espera entre a energização de duas bobinas consecutivas. No caso deseja-se um período para o motor de 2 segundos, o que significa 30rpm. Efetuando-se uma análise detalhada, pode-se determinar o tempo de espera de aproximadamente 10ms, conforme detalhado no Anexo 5.

Definição dos parâmetros de controle do Solenóide

O Solenóide será acionado através de um dos 8 relê das saídas analógicas da placa de I/O. As saídas da placa de I/O, analogamente a porta paralela, tem um endereço para o qual enviase um número hexadecimal, que representa os códigos binários de ligado/desligado para os 8 relés. Um fator importante que deve ser levado em

consideração é que se enviado um pulso de liga, ou 1, para o relê, este permanecerá ligado até que um pulso de desliga, ou 0, seja enviado.

No caso, o endereço das saídas da placa de I/O é 300h e como o solenóide está ligado no 5º relê, o comando de acionamento “liga” fica `port[$300]:=$20;` e o de “desliga”, `port[$300]:=00;`.

Como o solenóide tem um tempo de resposta mais lento que o computador, também é necessário colar um comando de *delay* entre dois comandos consecutivos de liga e desliga do solenóide.

2.2.3. Módulo de leitura dos sensores e controle do motor de corrente contínua

O Módulo de leitura dos sensores recebe do Programa Principal apenas a informação que o computador está disponível para entrada de moedas. Assim sendo, a primeira coisa que deve ser feita neste módulo é a leitura do sensor de presença para a identificação de presença de moedas. Caso não seja encontrada nenhuma moeda, o *software* continuará executando varreduras durante 5 segundos ou até identificar a presença de uma moeda. O módulo retornará ao programa principal, após o programa identificar ausência de moedas por 5 segundos.

A logística adotada no módulo de leitura de sensores e controle do motor de corrente contínua esta descrita na figura à seguir:

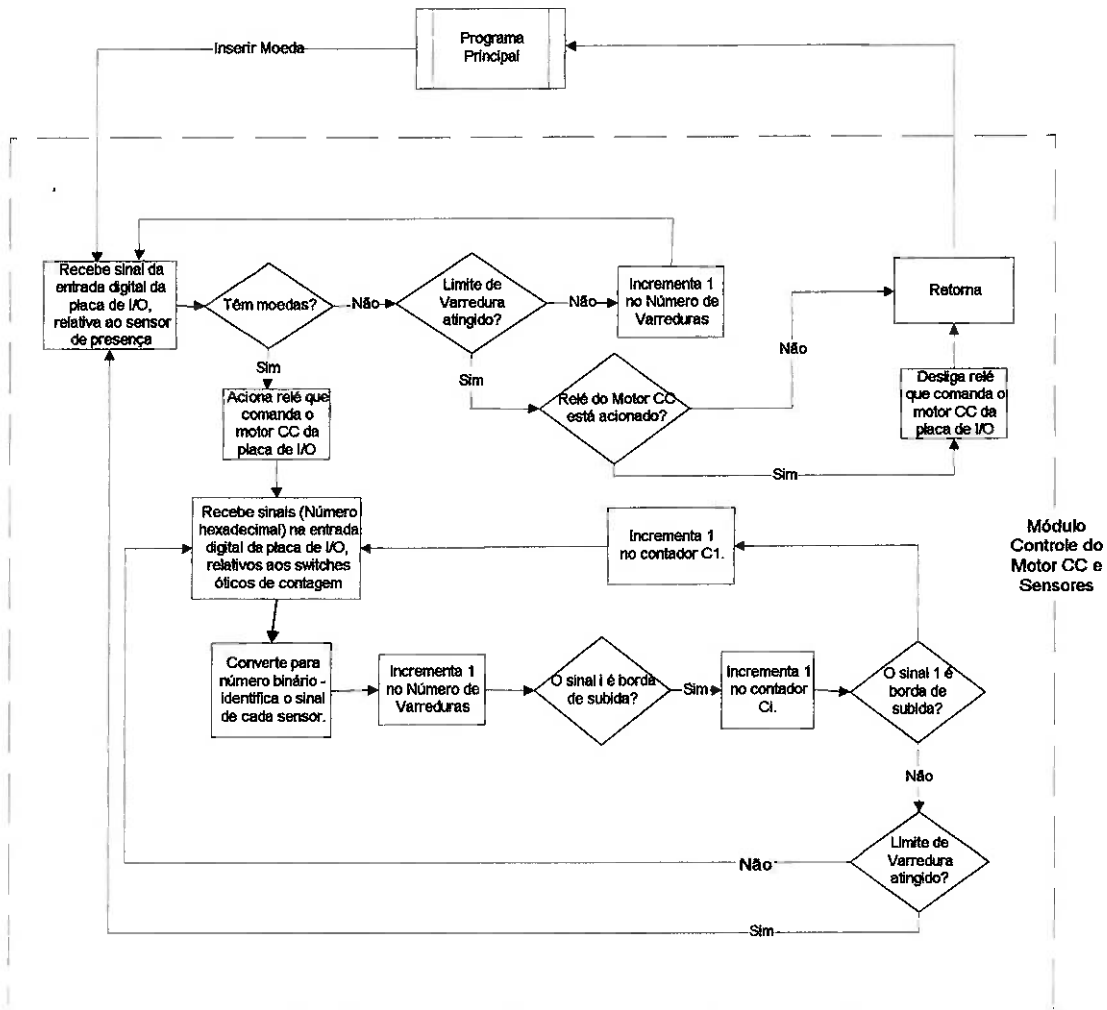


Figura 14 - Estrutura do Módulo de Leitura de Sensores e Controle do Motor CC

O sensor de presença e os 6 sensores de contagem estão ligados a entrada digital da placa de I/O, assim analogamente às saídas, a leitura é feita simultaneamente para as 8 entradas. O comando para a leitura dos sensores é $S:=port[\$301];$, onde S é uma variável inteira, e 301h é o endereço dos sensores. Quando este comando é executado, a variável S armazena, um número decimal correspondente a leitura em binário dos 8

sensores. Assim, foi montada uma lógica que transforma o número decimal em binário, para saber-se os sinais separadamente dos 7 sensores separadamente.

Para o sensor de presença é muito fácil identificar se existe ou não moeda, na presença de moeda o sinal será 0 e na ausência o sinal será 1. Assim que detectada a presença de moeda, o *software* deverá ligar o motor de corrente contínua, que está ligado no 1º relê da placa de I/O. Assim, igualmente ao solenóide, utiliza-se endereço 300h para o envio do número hexadecimal, que representa os códigos binários de ligado/desligado para os 8 reles. Como o solenóide está ligado no 1º relê, o comando de acionamento “liga” fica *port[300]:=01*; e o de “desliga”, *port[300]:=00*;

Como dito anteriormente, deve-se levar em consideração que se enviado um pulso de liga, ou 1, para o relê, este permanecerá ligado até que um pulso de desliga, ou 0, seja enviado. Assim, antes de retornar ao programa principal, é necessário desligar o motor.

Para os sensores de presença, não pode-se simplesmente incrementar 1 em um contador quando identificar-se a presença de uma moeda ou ler-se 0 numa das porta, pois são feitas muitas leituras por um sensor em uma mesma moeda⁶, de modo a garantir que todas as moedas sejam lidas. Assim, o que é feito é incrementar um contador a cada “borda de descida”, ou seja, a cada passagem de 1 para 0 do sensor.

⁶ O cálculo do tempo de varredura encontra-se no Anexo 6.

3. Testes do Software

Inicialmente foram testados cada um dos acionamentos de atuadores isoladamente, além da leitura dos sinais dos sensores. Posteriormente, foram montados todos os acionadores e sensores e com um único software fez-se o controle dos acionadores e a leitura dos sensores foram testadas. Todos os testes foram satisfatórios, os tempos de varredura calculados, a velocidade do motor de passo e o tempo entre a expulsão de duas moedas consecutivas estavam compatíveis com a necessidade da SCAM.

Conclusão

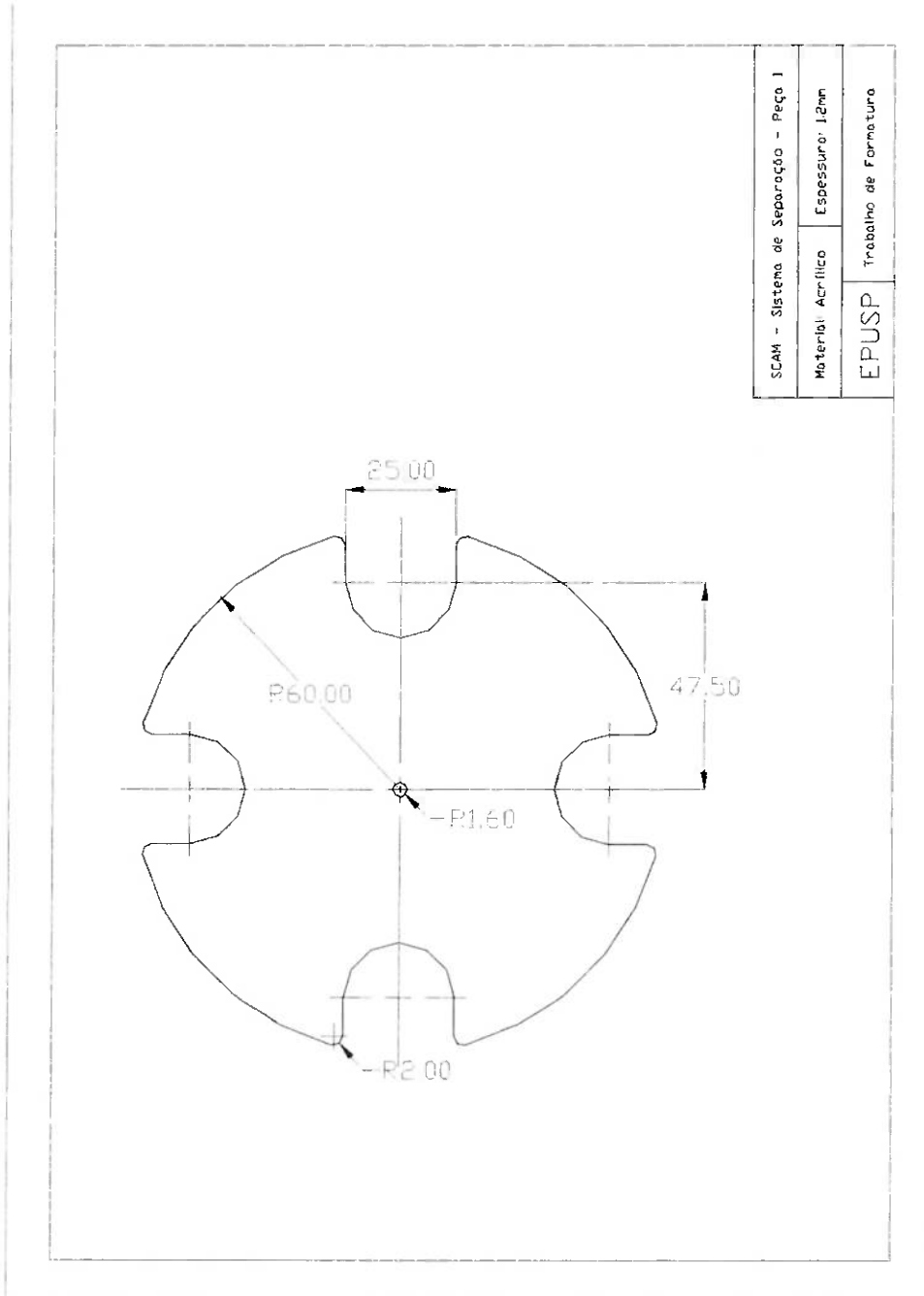
Este trabalho foi de grande importância na solidificação dos conhecimentos de engenharia mecânica e eletrônica adquiridos durante curso, do qual este é o trabalho final. Como o projeto incluiu a integração da área mecânica com a eletrônica, utilizando software, atuadores e sensores, proporcionou a aplicação de uma grande gama de fundamentos adquiridos ao longo do curso.

Além disto, propiciou a vivência de um projeto completo, desde idéia até a construção de um protótipo, identificando problemas, re-projetando e avaliando assim o projeto inicial desenvolvido.

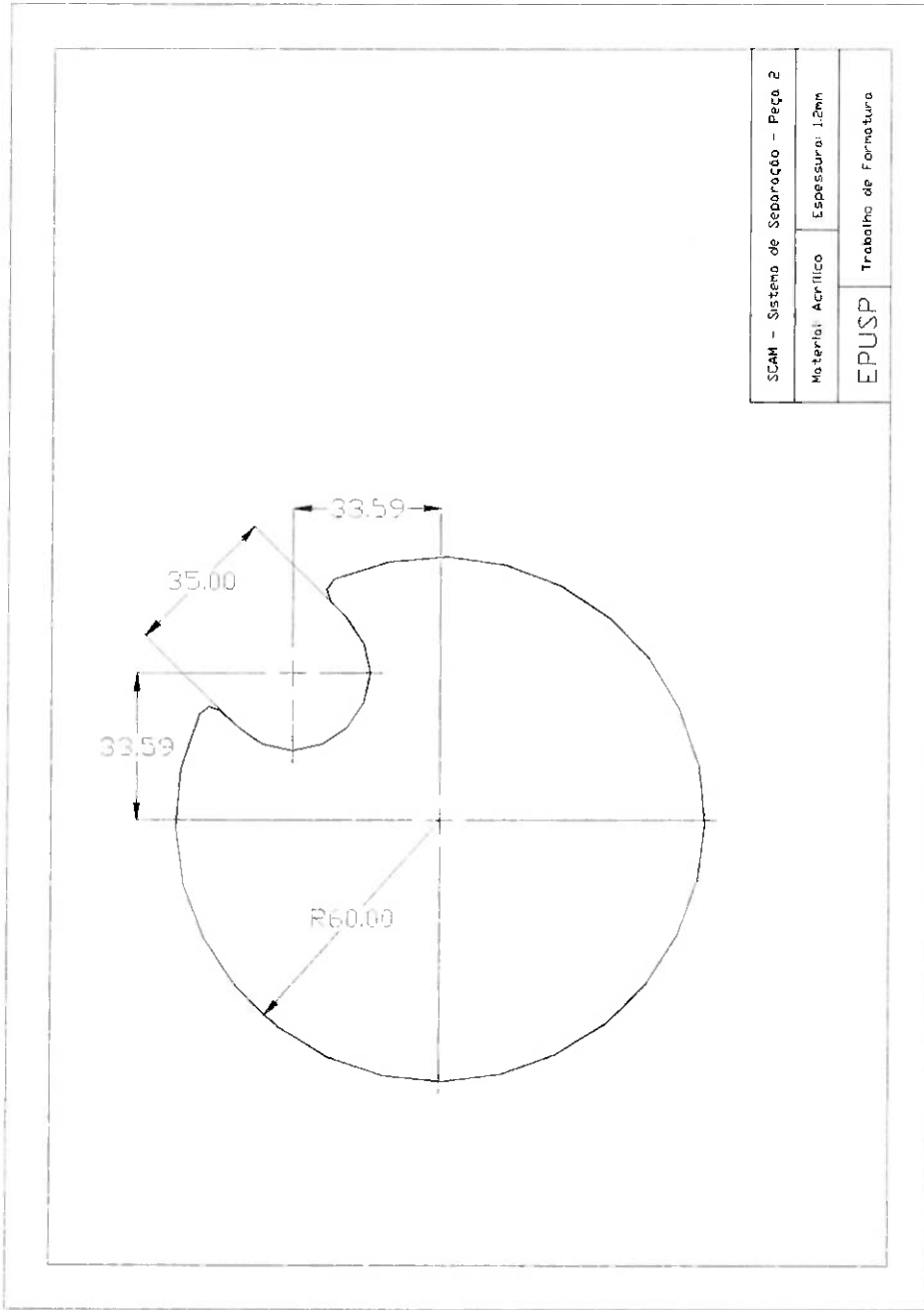
Quanto ao trabalho, foi extremamente gratificante, pois por tratar-se de uma máquina de uso em estabelecimentos comerciais que estão ligados com o dia-a-dia de todos, pode-se visualizar a sua aplicação, além da oportunidade de validar um projeto teórico.

Anexo 1

1. Desenho de Fabricação do Sistema de Separação de Moedas



SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS



Anexo 2

1. Cálculo da velocidade máxima

Modelando-se a moeda rolando na rampa, como um cilindro rolando para baixo sem deslizar em um plano inclinado (com atrito) através da conservação de energia e supondo velocidade inicial nula tem-se:

$$M \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot I_{CM} \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

Equação 1 - Conservação de Energia I

onde $M = \text{massa}$ $I_{CM} = \text{momento de inércia em rel. ao centro de massa}$

$g = \text{gravidade}$ $\omega = \text{velocidade angular}$

$R = \text{raio da moeda}$ $h = \text{altura percorrida pela moeda}$

Sendo que o I_{CM} e ω podem ser substituídos por:

$$I_{CM} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2$$

$$\omega = \frac{v}{R}$$

Equação 2 - I_{CM} e ω

Substituindo as equações acima na equação de conservação de energia pode-se obter:

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot g \cdot h}$$

Equação 3 - Relação da velocidade em função da altura

Como a altura máxima percorrida por uma moeda pode ser $h = 100mm.$, a velocidade máxima será $v_{m\acute{a}x} = 1,14m/s.$

2. Cálculo do tempo de rotação mínimo

Só pode-se garantir que uma moeda vai cair, se o seu centro de massa tiver passado a parede da guia em hélice, por dentro do rasgo, como ilustra a figura:

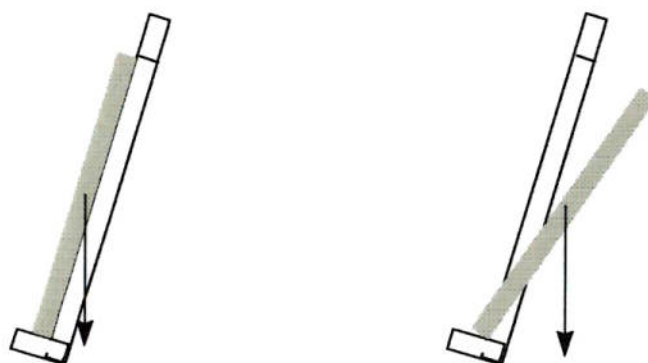


Figura 15 - Rotação da Moeda

Pode-se calcular o ângulo mínimo de rotação como sendo:

$$\begin{aligned} \text{arco} &= 2 \cdot \alpha \cdot R \\ \text{arco} &= \frac{1}{2} \cdot m + e \end{aligned}$$

Equação 4 - Ângulo mínimo de rotação da moeda

onde $\alpha = \text{ângulo mínimo de rotação}$ $R = \text{raio da moeda}$

$m = \text{espessura da moeda}$ $e = \text{espessura da guia}$

arco = comprimento do arco de circunferência percorrido pelo centro da moeda entre as duas posições

Efetuatingo-se os cálculos:

$$m = 1.4mm \quad R = 12mm \quad e = 1.5mm \quad \rightarrow \quad \underline{\alpha = 0.2375rad = 13.6^\circ}$$

3. Cálculo da Velocidade Angular Máxima

Considerando-se que a velocidade linear v calculada acima é mantida constante durante a rotação da moeda, pode-se obter a seguinte modelagem para o sistema pela conservação de energia:

$$\frac{M \cdot \omega^2}{2} \cdot R^2 = M \cdot g \cdot h$$

Equação 5 - Conservação de Energia II

onde $M = \text{massa}$ $g = \text{gravidade}$ $\omega = \text{velocidade angular}$

$R = \text{raio da moeda}$ $h = \text{altura percorrida pelo centro moeda}$

Sendo que o h pode ser substituído por: $h = R \cdot \text{tg} \alpha$

Pose-se então obter-se $\omega = 7,54 \text{ rad/s}$

Portanto, pode-se obter o tempo necessário para a rotação, na situação crítica por:

$$\Delta t = \frac{\alpha}{\omega}$$

Equação 6 - Tempo mínimo

De onde resulta $\Delta t = 0,0315s$.

4. Cálculo do comprimento percorrido pela moeda durante a rotação

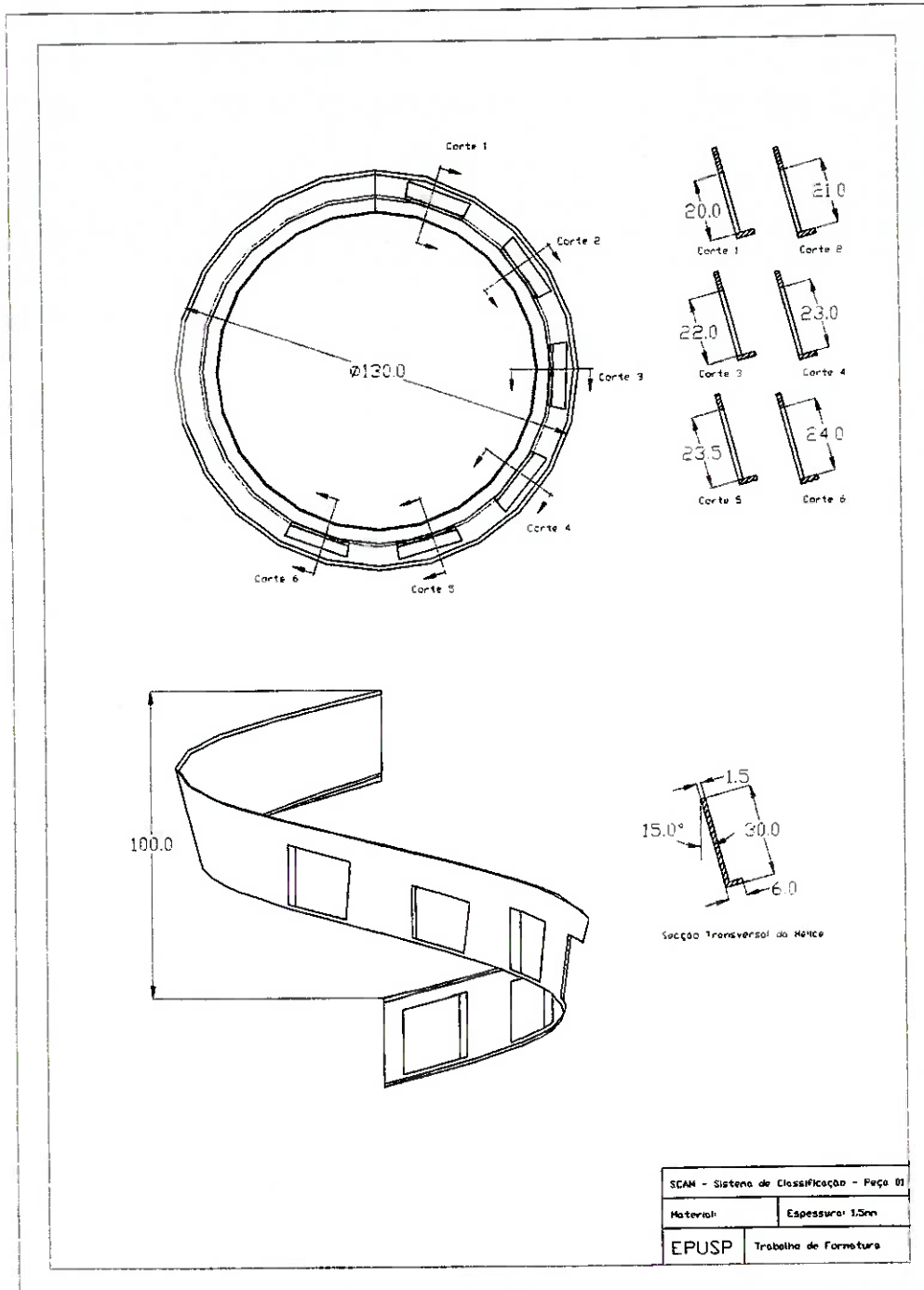
$$\Delta s = v \cdot \Delta t$$

Equação 7 - Comprimento percorrido pela moeda

Assim pode-se obter $\Delta s = 3,6mm$.

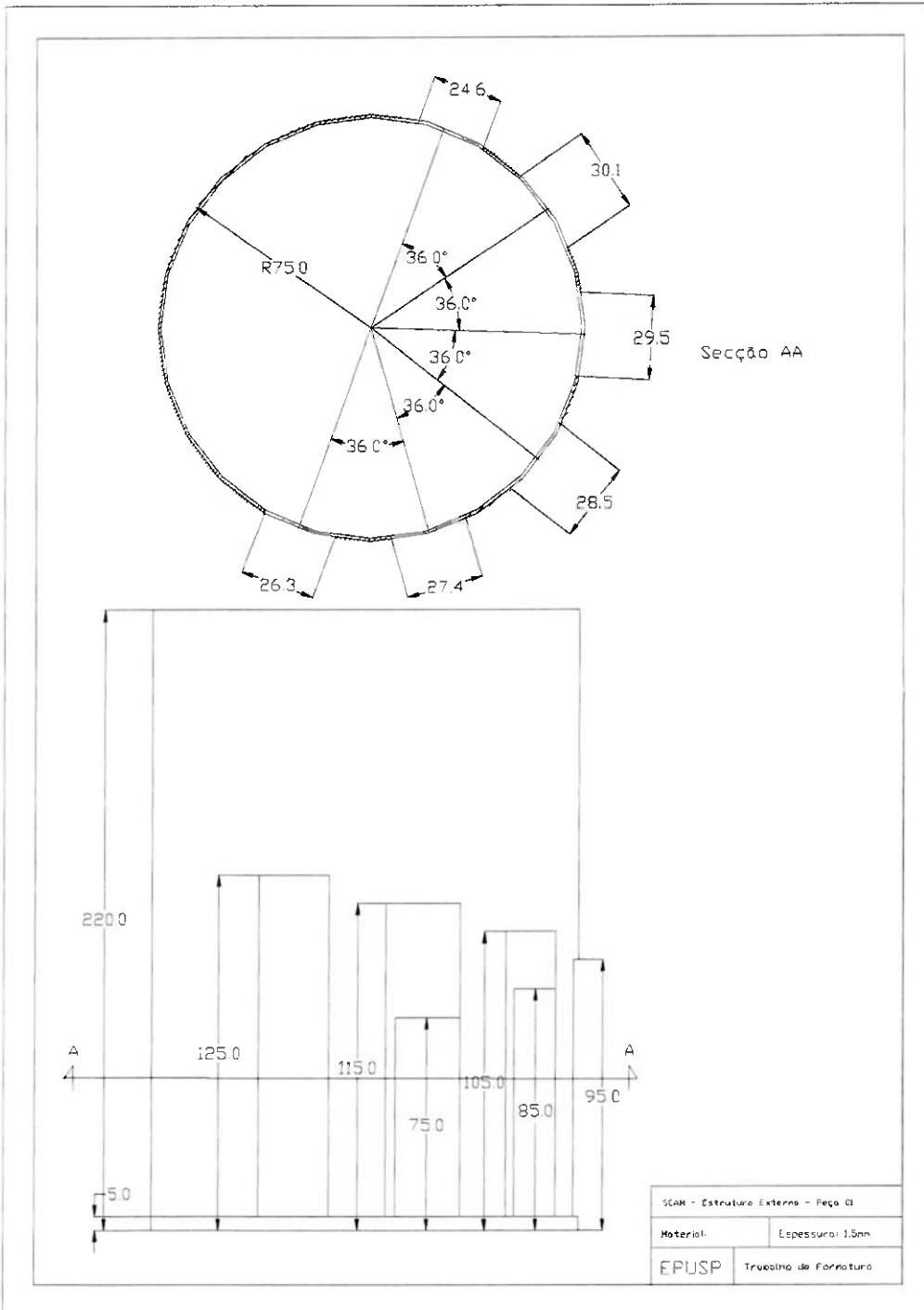
Anexo 3

1. Desenho de Fabricação do Sistema de Classificação



Anexo 4

1. Desenho de Fabricação da estrutura externa da SCAM



Anexo 5

1. Cálculos para obtenção da velocidade do motor de passo

O tempo de *delay* entre a energização de duas bobinas consecutivas do motor de passo é o parâmetro mais importante na determinação da velocidade do motor de passo. Sabe-se que foi determinada um período de aproximadamente 2s para uma rotação do motor, o que resulta em 30rpm ou 0.5rps.

Sabe-se também que o motor escolhido tem passo de 1,8° e, portanto, deverão ser enviados 200 pulsos para o motor completar uma volta. Assim, o tempo entre dois pulsos consecutivos deve ser de 10ms.

Baseando-se nos números de ciclos de *clock* do comando em hexadecimal MVI ou LXI⁷, pode-se estimar que o comando em Pascal `port[OUTREG]:=xx;` gasta aproximadamente 20 ciclos de *clock* de tempo. Como o *software* está sendo executado em um computador com *clock* de 66MHz, pode-se calcular o tempo de um ciclo de *clock* em $1,5 \times 10^{-5}$ ms. Agora basta calcular o tempo de *delay*.

$$\Delta T_{delay} = 10 - 1,5 \times 10^{-5} \times 20 = 9,9997ms \cong 10ms$$

Equação 8 - Cálculo do tempo de delay - velocidade do motor de passo

Portanto, o tempo de execução do comando *port* é desprezível se comparado ao tempo de *delay* necessário.

⁷ Fonte: apostila de Laboratório de Microprocessadores

Para cria-se o tempo de *delay*, foi criada uma rotina que faz um *loop* de 1 até N, onde N deve ser determinado de modo a obter-se um tempo de 10ms. Como o *loop* é aproximadamente incrementar um contador, comparar com o número N e retornar, pode-se estimar o número de ciclos de *clock* segundo a soma dos comando INX, CMP e JZ em hexadecimal, o qual gastam 36 ciclos de *clock*. Portanto o número N pode ser calculado por:

$$N = \frac{10}{36 \times 1,52 \times 10^{-5}} = 18333 \cong 20000ms$$

Equação 9 - Calculo do número de loops de delay - velocidade do motor de passos

Portanto, deve-se fazer executar o comando *for i:=1 to 20000 do* para obter-se um tempo de *delay* de 10ms. Não pode-se deixar de destacar, que este resultado só é válido para computadores com *clock* de 66MHz.

Anexo 6

1. Cálculo do comprimento a ser lido da moeda

Como o sensor está posicionado na parte superior da rampa, a situação mais crítica para leitura é da moeda de 1 centavo, a qual tem ao menor comprimento de varrido pelo sensor, conforme mostra o esquema abaixo:

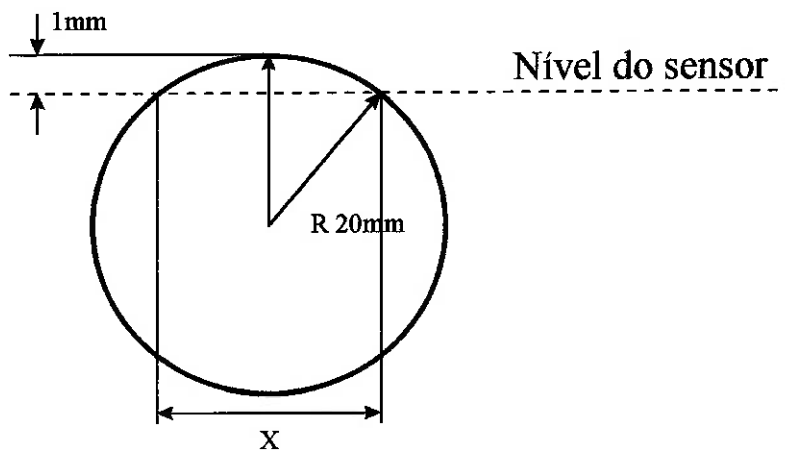


Figura 16 - Esquema da moeda de 1 centavo em relação ao sensor de contagem

O comprimento x pode ser calculado a partir da equação:

$$20^2 = (20 - 19)^2 + \left(\frac{X}{2}\right)^2 \Rightarrow X = 12,5mm$$

Equação 10 - Cálculo da distância a ser percorrida pela moeda pelo sensor

2. Cálculo da velocidade da moeda

O caso mais crítico, seria quando a moeda estivesse rolando sem atrito, o que já foi calculado no item 1 do Anexo 2. A velocidade máxima obtida é de 1,14m/s. Assim sendo, o tempo em que devem ser feita ao menos 2 varreduras pode ser calculado por:

$$\Delta t = \frac{12.5 \times 10^{-3}}{1.14} = 1.1 \times 10^{-3} s = 1.1ms$$

Equação 11 - Cálculo do tempo máximo de 2 varredura do sensor

Portanto, deve ser executada uma leitura do sensor a cada 0,55ms no máximo.

3. Verificação empírica do tempo que a rotina desenvolvida leva para fazer duas varreduras consecutiva

Para determinar se o tempo gasto pelo *software* entre duas varreduras consecutiva é menor que 0,55ms, colocou-se uma linha de comando de *get time*⁸ e executou-se o programa. O tempo gasto pelo programa foi inferior a precisão do comando, ou seja, 1 centésimo de segundo, sendo insuficiente para garantir que todas as moedas serão detectadas. Assim, foi feito teste com sucesso para 300 moedas.

⁸ Comando disponível no Turbo Pascal 6.0

Anexo 7

1. Discretização e Planificação da Rampa em Hélice

Uma vez que a rampa em hélice do protótipo foi construída através da deformação de uma chapa de poliestireno e da complexidade do seu perfil, fez-se necessário a discretização e planificação da hélice.

Como o seu perfil é em formato de “L”, a rampa foi discretizada em duas partes de coroas circulares.

1. Cálculo dos raios fundamentais da hélice:

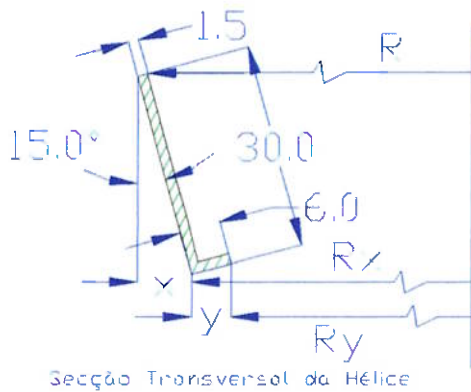


Figura 17 - Raios Fundamentais da Hélice

Sabe-se que $R = 65 \text{ mm}$ de acordo com o projeto, assim pode-se obter R_x e R_y :

$$\operatorname{tg}15^\circ = \frac{x}{30} \Rightarrow x = 8,04\text{mm} \Rightarrow R_x = 65 - 8,04 = 56,96\text{mm}$$

Equação 12 - Cálculo de R_x

$$\cos 15^\circ = \frac{y}{6} \Rightarrow y = 5,80 \Rightarrow R_y = 56,96 - 5,80 = 51,16\text{mm}$$

Equação 13 - Cálculo de R_y

2. Determinação de um elemento infinitesimal da rampa:

Sabendo-se que a rampa em hélice faz uma circunferência completa, ou seja, tem 360° e que a diferença de altura é de 100mm entre o início e o fim da rampa, dividiu-se a rampa em 100 elementos infinitesimais. Assim sendo, a diferença de altura de dois postos do elemento infinitesimal é de 1mm, ou seja, $dz = 1\text{mm}$, conforme mostrado na figura a seguir:

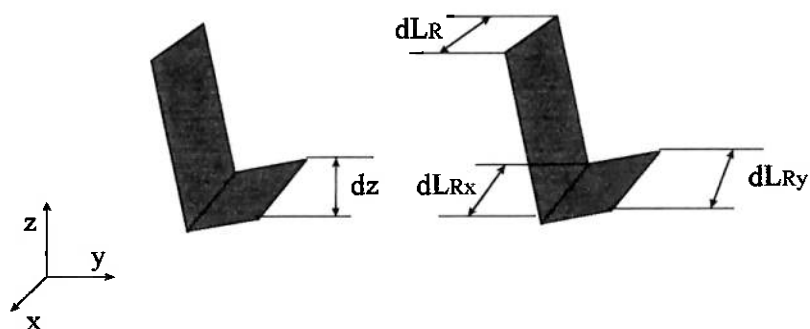


Figura 18 - Parâmetros de Discretização de um Elemento Infinitesimal da Rampa

Para calcular dL_{Ry} é necessário saber o comprimento da circunferência devido a Ry , chamado de L_{Rx} no desenho da hélice planificada a seguir:

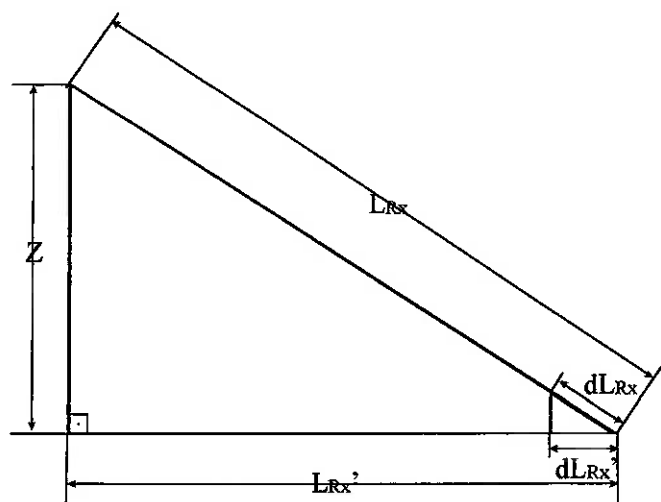


Figura 19 - Esquema da rampa em hélice no plano

O comprimento L'_{Rx} representa o comprimento da circunferência em um plano de raio Rx , o que seria a hélice no caso de $Z=0$. Pode-se calcular L'_{Rx} por:

$$L_{R_x}' = 2 \cdot \pi \cdot R_x = 357,7mm$$

Equação 14 - Cálculo de L_{R_x}'

Para um elemento infinitesimal que representa um centésimo da rampa, tem-se $dZ = 1mm$ e $dL_{R_x}' = 3,577mm$ e pode-se calcular dL_{R_x} :

$$dL_{R_x} = \sqrt{dZ^2 + dL_{R_x}'^2} = 3,71mm$$

Equação 15 - Cálculo de dL_{R_x}

Portanto, $L_{R_x} = 371mm$.

Analogamente, pode-se calcular L_R e L_{R_y} , obtendo-se $L_{R_y} = 336,5mm$ e $L_R = 420mm$.

3. Determinação das Coroas Circulares

Para a pista da rampa, onde rola a moeda, sabe-se que o comprimento externo é L_{R_x} e o interno é L_{R_y} e a diferença de raio é de 6mm (espessura da pista), conforme mostra o esquema abaixo:

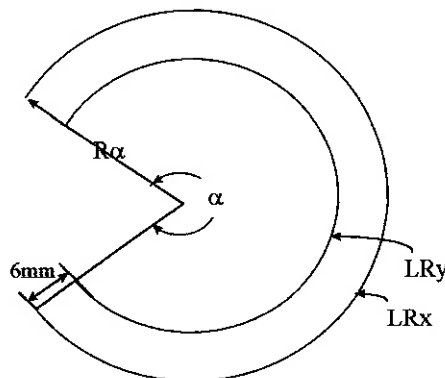


Figura 20 - Esquema de planificação da pista da rampa em hélice

Assim sendo, pode-se calcular α e $R\alpha$ a partir do sistema a seguir:

$$\begin{cases} \alpha \cdot R\alpha = 371mm \\ \alpha \cdot (R\alpha - 6) = 336,5mm \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 5,75rad = 330^\circ \\ R\alpha = 58,5mm \end{cases}$$

Equação 16 - Cálculo da planificação da pista da rampa

Analogamente, pode-se calcular β e $R\beta$ para o encosto da rampa, onde o comprimento externo é L_R , o interno é L_{R_x} e a diferença de raios, a altura do encosto da rampa (30mm).

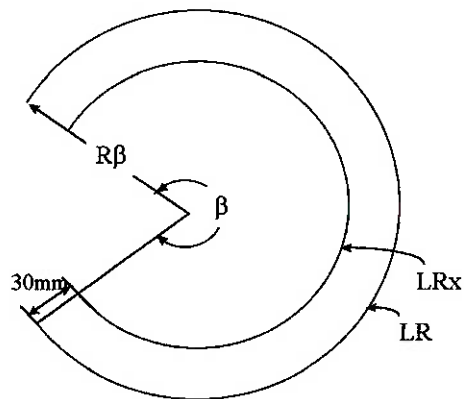


Figura 21 - Esquema de planificação do encosto da rampa em hélice

$$\begin{cases} \beta \cdot R\beta = 420\text{mm} \\ \beta \cdot (R\beta - 30) = 371\text{mm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \beta = 1,63\text{rad} = 93,4^\circ \\ R\beta = 227\text{mm} \end{cases}$$

Equação 17 - Cálculo da planificação do encosto da rampa

4. Desenhos das Coroas Circulares

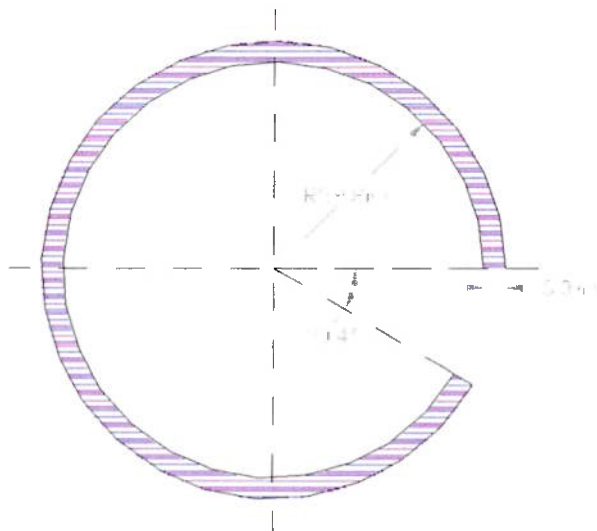


Figura 22 - Desenho Planificado da Base da Rampa

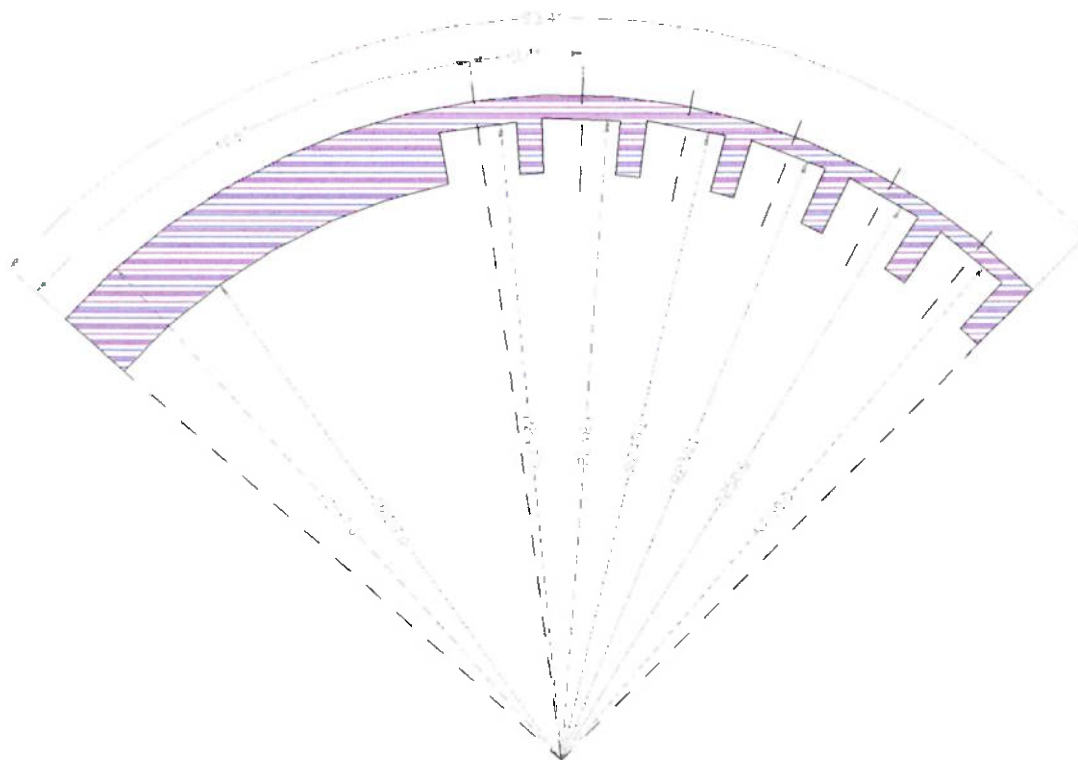


Figura 23 - Desenho Planificado do Encosto da Rampa em Hélice

Anexo 8

1. Listagem do Software de Controle e Interface da SCAM

Program coincoin;

```
uses sensores,dos,crt,emite;

var last_key,control,key:char;
moedas:votor;
caixa,valor:votor;
last_box:votor;
Saque,Saldo,SaquePos,amais,SaqueInic:real;
pos_motor,i,j,x:integer;
existe:boolean;

Procedure Imprime_Arq;
var
  nome:string;
  arch:text;

Begin
  nome:='coin.ini';
  assign(arch,nome);
  rewrite(arch);
  for i:=1 to 4 do writeln(arch,caixa[i]);
  writeln(arch,pos_motor);
  close(arch);
End;

Procedure Le_arq;

var nome:string;
  arch:text;

begin
  nome:='b:\coin.ini';
  assign(arch,nome);
  reset(arch);
  for i:=1 to 4 do readln (arch,caixa[i]);
  readln(arch,pos_motor);
  close(arch);
end;

Begin
for i:=1 to 4 do
begin
  moedas[i]:=0;
  caixa[i]:=0;
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
    last_box[i]:=0;
end;

last_key:='p';
le_arq;
port[$300]:=$00; { recolhe o solenoide e desliga o motor }
valor[1]:=1;
valor[2]:=10;
valor[3]:=50;
valor[4]:=100;

while (last_key<>'q') and (last_key<>'Q') do
begin
    clrscr;
    gotoxy(1,1);
    writeln('                Coin-Coin');
    gotoxy(1,20);

writeln('_____');
    writeln('                ');
    writeln(' 1- Balanco do Caixa 2- Troco 3- Livre                Q- Sai ');
    writeln('-----|-----|+');
    writeln(' Mensagens:                | Opcao:                ');

writeln('_____');
    gotoxy(67,23);
    last_key:=readkey;

case last_key of
    '1':begin
        Saldo:=1*caixa[1]+10*caixa[2]+50*caixa[3]+100*caixa[4];
        if saldo<>0 then
            begin
                gotoxy(14,5);
                writeln('Numero de Moedas:');
                writeln("");
                writeln('Moedas de R$ 0,01: ',caixa[1]);
                writeln('Moedas de R$ 0,10: ',caixa[2]);
                writeln('Moedas de R$ 0,50: ',caixa[3]);
                writeln('Moedas de R$ 1,00: ',caixa[4]);
                writeln("");
                Saldo:=1*caixa[1]+10*caixa[2]+50*caixa[3]+100*caixa[4];
                writeln('Total armazenado: R$ ', saldo/100:6:2);
                readkey;
            end
        else
            begin
                GotoXY(14,23);
                sound(262);
                delay(200);
                nosound;
                Write('Nao existem moedas armazenadas - Tecle algo. ');
            end
        end
    end
end;
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
    readkey;
  end;
end;
'2':begin {1}
  for i:=1 to 4 do moedas[i]:=0;
  Saldo:=1*caixa[1]+10*caixa[2]+50*caixa[3]+100*caixa[4];
  If Saldo<>0 then
  Begin {2}
    GotoXY(14,23);
    writeln(' Quanto deseja receber? R$           ');
    gotoxy(42,23);
    read(Saque);
    Saque:=Saque*100;
    SaqueInic:=Saque;
    If saque>saldo then
    begin {3}
      GotoXY(14,23);
      sound(262);
      delay(200);
      nosound;
      Write('Não ha moedas suficientes para o troco - Teclre algo.      ');
      readkey;
    end {3}
  Else
  begin {3a}
    for i:=4 downto 1 do
    begin {4}
      last_box[i]:=caixa[i];
      {1,50,10,1 R$}      moedas[i]:=Trunc(Saque/valor[i]);
      if caixa[i]>=moedas[i] then
      begin {5}
        caixa[i]:=caixa[i]-moedas[i];
        Saque:=round(Saque-(moedas[i]*valor[i]));
      end {5}
      else
      begin {5a}
        saque:=round(saque-caixa[i]*valor[i]);
        moedas[i]:=caixa[i];
        caixa[i]:=0;
      end; {5a}
    end; {4}
  end;

  If Saque>=0.01 then
  begin {4a}
    saquepos:=0;
    for i:=1 to 4 do saquepos:=saquepos+moedas[i]*valor[i];
    i:=1;
    Saque:=SaqueInic;
    while saquepos<saque do
    begin {5b}
      if caixa[i]=0 then i:=i+1
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
    else
    begin {6}
        saquepos:=saquepos+valor[i];
        moedas[i]:=moedas[i]+1;
        caixa[i]:=caixa[i]-1;
    end; {6}
end; {5b}
while i>=1 do
begin {5c}
    amais:=saquepos-saque;
    x:=Trunc(amais/valor[i]);
    if (x>=1) and (moedas[i]>=1) then
    begin {6a}
        if moedas[i]>=x then
        begin {7}
            moedas[i]:=moedas[i]-x;
            caixa[i]:=caixa[i]+x;
            saquepos:=saquepos-x*valor[i];
        end {7}
        else
        begin {7a}
            saquepos:=saquepos-moedas[i]*valor[i];
            caixa[i]:=caixa[i]+moedas[i];
            moedas[i]:=0;
        end; {7a}
    end; {6a}
end; {6a}
    i:=i-1;
end; {5c}
GotoXY(14,14);
sound(100);
delay(200);
nosound;
Writeln('Nao existe combinacao de moedas correta para o troco. ');
Writeln('O valor mais proximo e:',saquepos/100:6:2);
Writeln('Deseja recebe-lo? (S/N) ');
key:=readkey;
end {4a}
else key:='S';

If (key='S') or (key='s') then
begin {4b}
    Saldo:=1*caixa[1]+10*caixa[2]+50*caixa[3]+100*caixa[4];
    GotoXY(14,14);
    Troco(moedas, pos_motor);
    Write('Retire as moedas! Saldo Disponivel de R$ ',saldo/100:6:2);
    Write(' Teclre algo. ');
    readkey;
end; {4b}

if (key='N') or (key='n') then
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
        begin {4c}
            for i:=1 to 4 do caixa[i]:=last_box[i];
            GotoXY(14,23);
            Write("Troco cancelado - Tecl. algo.      ");
            readkey;
        end; {4c}
    end; {3a}
End {2}
Else

    begin {2a}
        GotoXY(14,23);
        sound(262);
        delay(200);
        nosound;
        Write("Nao existem moeda armazenada - Tecl. algo.      ");
        readkey;
    end; {2a}
end; {1}

'3':Begin
    leitura;
    for i:=1 to 3 do
        begin
            contador[i]:=contador[i]-contador[i+1];
        end;
    for i:=1 to 4 do
        begin
            caixa[i]:=caixa[i]+contador[i];
        end;
        gotoxy(14,5);
        writeln("Numero de Moedas inseridas:");
        writeln("");
        writeln("Moedas de R$ 0,01: ',contador[1]);
        writeln("Moedas de R$ 0,10: ',contador[2]);
        writeln("Moedas de R$ 0,50: ',contador[3]);
        writeln("Moedas de R$ 1,00: ',contador[4]);
        writeln("");
        Saldo:=1*caixa[1]+10*caixa[2]+50*caixa[3]+100*caixa[4];
        writeln("Total armazenado: R$ ', saldo/100:6:2);
        readkey;
    End;

'q','Q': Begin
    imprime_arq;
    End;

end;
end;
clrscr;
End.
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

Unit sensores;

INTERFACE

```
uses dos,crt;
var contador,entrada:array [0..4] of integer;
    sensor,tempo,anterior:integer;
    liga:boolean;
procedure leitura;
function eleva(base:integer;expoente:integer):integer;
```

IMPLEMENTATION

```
function eleva;
var res,t:integer;
begin
    res:=1;
    for t:=1 to expoente do
        begin
            res:=base*res;
        end;
    eleva:=res;
end;

procedure leitura;
var p:integer;
begin
    for p:=0 to 4 do
        begin
            entrada[p]:=0;
            contador[p]:=0;
        end;
        tempo:=0;liga:=false; sensor:=$FF;
        while tempo<=100 do
            begin
                if (liga=false) and (tempo<>0) and (entrada[2]=0) then
                    begin
                        port[$300]:=$01; { liga o motor CC }
                        liga:=true;
                    end;
                sensor:=port[$301];
                for p:=4 downto 0 do
                    begin
                        anterior:=entrada[p];
                        if sensor>=eleva(2,p) then
                            begin
                                entrada[p]:=1;
                                sensor:=sensor-eleva(2,p);
                            end
                        else entrada[p]:=0;

                            if (entrada[p]>anterior) and (tempo<>0) then contador[p]:=contador[p+1];
                        end;
                    if entrada[2] = 1 then tempo:=tempo+1 else tempo:=1;
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
    end; {while}
    if liga =true then
    begin
        port[$300]:=00; { desliga motor e solenoide }
        liga:=false;
    end;
end;

BEGIN
END.
```

Unit emite; { Single-Coil Excitation }

```
INTERFACE
uses dos,crt;
var j,chave:integer;
type vetor=array[1..4] of integer;
procedure Troco(vet_troco:vetor ; var posicao:integer);
procedure Moveccw(seq:integer);
procedure Movecw(seq2:integer);
const OUTREG = $378;
```

IMPLEMENTATION

```
procedure delay;
var j,fixo,varia: longint;h,m,s,ms:word;
    seg:string;
begin
    for j:=1 to 20000 do { nothing }
end;
```

```
Procedure delay2;
var k:longint;
begin
    for k:=1 to 2000000 do { nothing do solenoide }
end;
```

```
Procedure MoveCCW;
begin
    port[OUTREG] := $10; { all off }
    for j := 1 to seq do { CCW }
    { Sankyo : 1 volta = 200 passos (j de 1 a 50)}
    begin
        port[OUTREG] := $18; delay; {4}
        port[OUTREG] := $14; delay; {3}
        port[OUTREG] := $12; delay; {2}
        port[OUTREG] := $11; delay; {1}
    end;
    port[outreg]:=$00;
end;
```

```
Procedure MoveCW;
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
begin
  port[outreg]:=$00;
  for j := 1 to seq2 do { Clockwise }
  begin
    port[OUTREG] := $01; delay;
    port[OUTREG] := $02; delay;
    port[OUTREG] := $04; delay;
    port[OUTREG] := $08; delay;
  end;
  port[OUTREG] := $00; { all off }
end;

procedure Troco;
var k,m:integer;
begin
  if posicao=1 then
  begin
    for m:=1 to 3 do
    begin
      for k:=vet_troco[m] downto 1 do
      begin
        port[$300]:=$20;
        delay2;
        port[$300]:=$00;
        delay2;
      end;
      if (m=1) or (m=3) then moveCW(10) else MoveCW(5);
    end;
    for k:=vet_troco[4] downto 1 do
    begin
      port[$300]:=$20;
      delay2;
      port[$300]:=$00;
      delay2;
    end;
    posicao:=4;
  end
  else
  begin
    for m:=4 downto 2 do
    begin
      for k:=vet_troco[m] downto 1 do
      begin
        port[$300]:=$20;
        delay2;
        port[$300]:=$00;
        delay2;
      end;
      if (m=4) or (m=2) then moveCcW(10) else MoveCcW(5);
    end;
    for k:=vet_troco[1] downto 1 do
    begin
```

SISTEMA CLASSIFICADOR, CONTADOR E FORNECEDOR DE MOEDAS

```
    port[$300]:=$20;
    delay2;
    port[$300]:=$00;
    delay2;
  end;
  posicao:=1;
end;
end;
begin
end.
```

Referências Bibliográfica

- BEER, F. P. - **Resistência dos Materiais**. 2 ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1989.
- MALVINO, A. P. - **Eletrônica**. 4 ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1987.
- SHIGLEY, J. E. - **Mechanical Engineering Design**. - 6 ed. Singapore, McGraw-Hill, 1989.
- NUSSENZVEIG, H. M. - **Curso de Física Básica**. 2 ed., São Paulo, Edgard Blücher, 1981.
- OKAMOTO, J. - **Apostila de Laboratório de Computação**, São Paulo, EPUSP, 1995
- _____ - **Jones on Stepping Motors** - <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/index.html>
- _____ - **Parallel port output** - http://www.hut.fi/Misc/Electronics/circuits/parallel_output.html
- _____ - **Chip Index** - http://www.ece.orst.edu/cgi-bin/cgiwrap/~paul/pinouts/chip_index.cgi
- _____ - **Scan Coin Products - Coin Counters and Sorters** - <http://www.scancoin.co.uk/products/coin.html>
- _____ - **Coin-Handling Equipment** - <http://www.lynde-ordway.com/money/coin/>
- _____ - **Paul's Publications** - <http://www.ide.hk-r.se/~pdv/mypublications.html>
- _____ - **Compumotor Catalog - Engineering Reference and Application Solutions** - <http://www.compumotor.com/catalog/cataloga/cataloga.htm>
- _____ - **Surplus Electronics and Computer Parts** - <http://www.eio.com/index.html>

Apêndice 1

1. Índice do trabalho complementar a este, de Paulo Marcelo Porto Alves Blanco

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Resumo

1. INTRODUÇÃO	1
2. ESCOPO DO PROJETO	1
3. ESPECIFICAÇÕES DOS SISTEMAS DO PROJETO	2
3.1. ESTUDO DAS NECESSIDADE DE MERCADO CONSUMIDOR POTENCIAL	2
3.2. LEVANTAMENTO DE PREÇOS DE EQUIPAMENTOS PARA AUTOMAÇÃO COMERCIAL	3
3.3. ESPECIFICAÇÕES PRELIMINARES DO SCAM	4
3.3.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS:	4
3.3.2. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO	5
3.3.3. PREÇO	5
3.3.4. CONFIABILIDADE	6
3.4. ANÁLISE DAS MOEDAS BRASILEIRAS	6
3.5. ESPECIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DO PROJETO	8
3.5.1. CLASSIFICAÇÃO DE MOEDAS	8
3.5.2. CONTAGEM DE MOEDAS	8
3.5.3. ARMAZENAMENTO DE MOEDAS	8
3.5.4. EMISSÃO DO TROCO	8
3.5.5. INTERFACE COM PC	9
3.5.6. SOFTWARE	9
3.5.7. CONTROLE DOS ACIONADORES (MOTORES, SOLENÓIDES...)	9

4. OBTENÇÃO E ANÁLISE DE SOLUÇÕES PARA O PROJETO	10
4.1. ARMAZENAMENTO DAS MOEDAS	10
4.1.1. UTILIZAÇÃO DE SACOS DE ARMAZENAGEM	10
4.1.2. UTILIZAÇÃO DE ESCANINHOS	11
4.1.3. UTILIZAÇÃO DE TUBOS PARA ARMAZENAGEM	12
4.1.4. MATRIZ DE DECISÃO E ESCOLHA DA MELHOR ALTERNATIVA	13
4.1.5. SOLUÇÃO ADOTADA	15
4.2. EMISSÃO DO TROCO	16
4.2.1. SOLUÇÃO BASEADA EM MOTORES DE PASSO:	16
4.2.2. SOLUÇÃO BASEADA NO ACIONAMENTO POR SOLENÓIDES	17
4.2.3. SOLUÇÃO BASEADA NA COMBINAÇÃO DE UM MOTOR DE PASSO COM UM SOLENÓIDE	18
4.2.4. MATRIZ DE DECISÃO E ESCOLHA DA MELHOR ALTERNATIVA	18
4.2.5. SOLUÇÃO ADOTADA	20
5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO - PARTE MECÂNICA	21
5.1. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO	21
5.1.1. MATERIAIS	21
5.1.2. DIMENSIONAMENTO	21
5.2. SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE MOEDAS	23
5.2.1. MATERIAIS	23
5.2.2. ADAPTADOR DO SOLENÓIDE AO MOTOR	24
5.2.3. PROLONGADOR DA HASTE DO SOLENÓIDE	24
6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO - PARTE ELETRÔNICA	25
6.1. SENSORES	26
6.1.1. SENSOR DE PRESENÇA	26
6.1.2. SENSORES DE CONTAGEM DE MOEDAS	27
6.2. ATUADORES	32
6.2.1. SOLENÓIDE	32
6.2.2. MOTOR DE PASSO	34
6.2.3. MOTOR DC	38

6.3. INTERFACE	39
6.3.1. SENSORES	40
6.3.2. MOTOR DE PASSO	43
6.3.3. MOTOR DC E SOLENÓIDE	44
7. TESTES DO PROTÓTIPO	45
7.1. TESTES DOS SENSORES	45
7.2. TESTES DO CONTROLE DO MOTOR DE PASSO	47
7.3. TESTES DE ACIONAMENTO DO SOLENÓIDE E DO MOTOR DC	47
7.4. TESTES DOS SISTEMAS EM CONJUNTO	48
8. CONCLUSÃO	48
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<i>Figura 1 - Armazenagem em Sacos</i>	11
<i>Figura 2 - Armazenagem em Escaninhos</i>	12
<i>Figura 3 - Armazenagem em tubos</i>	13
<i>Figura 4 - Disposição dos Tubos de Armazenagem</i>	15
<i>Figura 5 - Extração através de motores de passo</i>	17
<i>Figura 6 - Extração através de solenóides</i>	17
<i>Figura 7 - Extração pela combinação de um Motor de Passo e um solenóide</i>	18
<i>Figura 8 - Dimensionamento do prolongador do solenóide</i>	25
<i>Figura 9 - Perfil da rampa de classificação</i>	30
<i>Figura 10 - Montagem do sensor sobre a rampa</i>	31
<i>Figura 11 - Curva de Força x Curso do solenóide</i>	33
<i>Figura 12 - Posicionamento do solenóide</i>	35
<i>Figura 13 - Curva Torque x Velocidade para o motor de passo escolhido</i>	37
<i>Figura 14 - Esquema ilustrativo da roda coletora de moedas.</i>	38
<i>Figura 15 - Esquema detalhado da roda coletora</i>	38
<i>Figura 16 - Montagem básica do sensor</i>	40
<i>Figura 17 - Circuito de conexão do sensor óptico ao micro-computador</i>	42
<i>Figura 18 - Circuito de acionamento do motor de passo</i>	44
<i>Figura 19 - Pinagem da Porta Paralela de Micro-computadores IBM-PC</i>	77
<i>Figura 20 - Funcionamento do driver ULN2003</i>	77
<i>Tabela 1 - Matriz de decisão para o sistema de armazenagem</i>	14
<i>Tabela 2 - Matriz de decisão para o sistema de extração de moedas</i>	20
<i>Tabela 3 - Definição dos diâmetros dos tubos de armazenagem</i>	22
<i>Tabela 4 - Comprimento dos Tubos de Armazenagem</i>	22
<i>Tabela 5 - Peso nos Tubos de Armazenagem</i>	33
<i>Tabela 6 - Características do motor DC escolhido.</i>	39
<i>Tabela 7 - Dados nominais das moedas</i>	50
<i>Tabela 8 - Dados Experimentais Obtidos</i>	51
<i>Tabela 9 - Cálculos dos CPK</i>	52