



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO  
SEMIÁRIDO  
CAMPUS CARAÚBAS  
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA

ANA PAULA FLORENTINO DOS SANTOS

## **PROJETO CONCEITUAL DE UMA MÁQUINA SELADORA DE PICOLÉS**

**CARAÚBAS - RN**

**2017**

ANA PAULA FLORENTINO DOS SANTOS

## **PROJETO CONCEITUAL DE UMA MÁQUINA SELADORA DE PICOLÉS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semiárido - Caraúbas, para cumprimento dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador:

Prof. Me. Diego David Silva Diniz

**CARAÚBAS - RN**

**2017**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS237 Santos, Ana Paula Florentino dos.  
p Projeto Conceitual de uma Máquina Seladora de  
Picolés / Ana Paula Florentino dos Santos. - 2017.  
145 f. : il.

Orientador: Diego David Silva Diniz.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia  
Mecânica, 2017.

1. Seladora de Picolés. 2. Cames. 3. Projeto  
de Engenharia. I. Silva Diniz, Diego David,  
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA PAULA FLORENTINO DOS SANTOS

## **PROJETO CONCEITUAL DE UMA MÁQUINA SELADORA DE PICOLÉS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semiárido - Caraúbas, para cumprimento dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

APROVADA EM: 20 / 10 / 2017

### **BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. MSc Diego David Silva Diniz  
Presidente

  
Prof. Dr. Jackson de Brito Simões  
Membro

  
Prof. MSc. Filipi Marques de Souza  
Membro

CARAÚBAS – RN, 2017

*“Venham a mim, todos os que estão cansados e sobrecarregados, e eu darei descanso a  
vocês.”*

(Mateus 11:28)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em primeiro lugar por: sua paciência, sua misericórdia, seu amor e sua fidelidade.

Agradeço a Deus por aqueles sorrisos que consegui dar em meio à momentos difíceis.

Agradeço a minha mãe Dalvací, mais que tudo, por ser a minha mãe do jeito que ela é.

E aos meus irmãos Pedro e Estefany, pois seremos unidos mesmo na velhice.

Agradeço a força enviada mesmo a distância daqueles amigos que moram longe.

Agradeço também aos amigos que dão força estando perto como ela: Nayana.

Agradeço aqueles alunos que aparecem na nossa vida e decidem ficar de uma vez.

Agradeço aqueles professores que também aparecem em nossa caminhada e de alguma forma, ficam! Ao professor Jackson Simoes, um professor que se tornou meu amigo. Também aos professores Wendell, Diego, Rejane, Edna, Fernando, Fabiano, Guymmann, Ana Claudia e tantos outros pelos quais tenho muito afeto.

Meu muito obrigado.

## **RESUMO**

Atualmente para a indústria de sorvetes e picolés o mercado tem oferecido vários tipos de máquinas para os mais diversos tipos de sorvetes, entretanto para picolés, a variedade não é tão grande e os equipamentos existentes diferem muito pouco entre si. Para tanto, este trabalho objetiva um projeto conceitual de uma máquina seladora de picolés diferente das que existem no mercado, de forma que ela seja de custo semelhante ao das máquinas manuais, mas eficiente como a máquina automática mais cara. A ideia partiu de uma necessidade familiar de uma indústria com a qual se estava habituado. O trabalho segue a metodologia de um projeto de engenharia. Pretende-se analisar o uso do mecanismo came – seguidor como mecanismo de selagem, por ser um elemento que sempre traz o caráter de ser compacto a um projeto. Utilizou-se de livros, normas e comparativos para realização dos cálculos e os dimensionamentos. O projeto se concentra nos elementos de máquinas mais essenciais à ideia inicial e resulta no dimensionamento dos mesmos.

**Palavras-chave:** Popsicle sealing machine. Cames. Engineering Project.

## **ABSTRACT**

Currently for the ice cream and popsicles industry the market has offered several types of machines for the most diverse types of ice creams, however for popsicles, the variety is not so great, and the existing equipment differ very little from one another. To this end, this work aims at a conceptual design of a popsicle sealing machine different from those on the market, so that it is similar in cost to manual machines, but efficient as the most expensive automatic machine. The idea came from a familiar need of an industry with which he was accustomed. The work follows the methodology of an engineering project. It is intended to analyze the use of the cam follower mechanism as a sealing mechanism, since it is an element that always brings the character of being compact to a project. We used books, standards and comparatives to perform calculations and sizing. The project focuses on the machine elements most essential to the initial idea and results in the design of the same.

**Keywords:** Sealing machine. Project. Cames.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Came e seguidor.....                                                                                                                          | 15 |
| Figura 2. À esquerda, haste oscilante. À direita, haste guiada. ....                                                                                    | 16 |
| Figura 3. (a) rolete, (b) face esférica, (c) face plana, (d) ponta .....                                                                                | 17 |
| Figura 4. Posições dos seguidores em relação ao eixo de giro do came. ....                                                                              | 18 |
| Figura 5. Modos de deslocamento do seguidor. ....                                                                                                       | 18 |
| Figura 6. Tipos de retornos. (a) por gravidade, (b) por mola, (c) comandado. ....                                                                       | 19 |
| Figura 7. Came de disco. ....                                                                                                                           | 20 |
| Figura 8. Came de tambor cilíndrico. ....                                                                                                               | 20 |
| Figura 9. Came de tambor cônico.....                                                                                                                    | 21 |
| Figura 10. Came frontal.....                                                                                                                            | 21 |
| Figura 11. Quadro com came de disco circular. ....                                                                                                      | 22 |
| Figura 12. Quadro com came triangular. ....                                                                                                             | 22 |
| Figura 13. Palminha de martelo. Palminha de pilão.....                                                                                                  | 23 |
| Figura 14. Nomenclatura do came de disco com seguidor radial de rolete.....                                                                             | 24 |
| Figura 15. Came com rolete. Came com seguidor de ponta. Came com impulsor de prato. ...                                                                 | 25 |
| Figura 16. Diagrama de deslocamento. ....                                                                                                               | 27 |
| Figura 17. Deslocamento, velocidade e aceleração para o UM.....                                                                                         | 28 |
| Figura 18. (a) Pontos de traçado do MU. (b) MU modificado. ....                                                                                         | 30 |
| Figura 19. Deslocamento, velocidade, aceleração e pulso (aceleração segunda) do MHS. ....                                                               | 31 |
| Figura 20. À esquerda, projeção do das posições do ponto P sob o diâmetro AB. À direita, pontos traçados sobre a linha de centro do seguidor (AB). .... | 32 |
| Figura 21. Diagrama de deslocamento do MHS. ....                                                                                                        | 32 |
| Figura 22. Diagrama de deslocamento do MP. (a) Pontos de traçado sobre a linha de centro do seguidor. (b) Diagrama de deslocamento do MP. ....          | 33 |
| Figura 23. Deslocamento, velocidade, aceleração e choque do MP.....                                                                                     | 35 |
| Figura 24. Infinitos picos de pulsos na aceleração de MHS com esperas. ....                                                                             | 36 |
| Figura 25. Aceleração senoidal fornece um deslocamento cicloidal.....                                                                                   | 37 |
| Figura 26. Deslocamento, velocidade, aceleração e pulso do MC. ....                                                                                     | 37 |
| Figura 27. Diagrama de deslocamento do MC. ....                                                                                                         | 40 |
| Figura 28. Came de disco com seguidor radial de rolete. ....                                                                                            | 41 |
| Figura 29. Came de disco com seguidor radial de ponta.....                                                                                              | 42 |

|                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 30. Came de disco com seguidor radial de face plana. ....                                                                                                                                                                                    | 42 |
| Figura 31. A circunferência de base ou principal ( $R_b$ ), a circunferência primária ( $R_p$ ) e a curva primitiva de um came radial com seguidor de rolete.....                                                                                   | 43 |
| Figura 32. Ângulo de pressão da came.....                                                                                                                                                                                                           | 45 |
| Figura 33. Geometria para a derivada da equação para o ângulo de pressão. ....                                                                                                                                                                      | 46 |
| Figura 34. Raio do rolete é muito maior que o raio de curvatura mínimo. ....                                                                                                                                                                        | 49 |
| Figura 35. Raio de curvatura pequeno causando adelgaçamento. À esquerda, raio de curvatura igual à do seguidor tipo rolete. À direita, raio da curvatura menor que o raio do seguidor tipo rolete. ....                                             | 49 |
| Figura 36. Monograma para determinação do ângulo de pressão máximo. ....                                                                                                                                                                            | 51 |
| Figura 37. Parâmetros para o MC.....                                                                                                                                                                                                                | 52 |
| Figura 38. Parâmetros para o MHS. ....                                                                                                                                                                                                              | 53 |
| Figura 39. As fases de projeto. ....                                                                                                                                                                                                                | 55 |
| Figura 40. Etapas de projeto. ....                                                                                                                                                                                                                  | 56 |
| Figura 41. Unidade de produção de ar comprimido. ....                                                                                                                                                                                               | 59 |
| Figura 42. Sistema pneumático básico. ....                                                                                                                                                                                                          | 60 |
| Figura 43. Motores elétricos.....                                                                                                                                                                                                                   | 61 |
| Figura 44. Rotor bobinado e estator. ....                                                                                                                                                                                                           | 61 |
| Figura 45. Exemplos de motoredutores. (a) Motoredutor coaxial com motor bobinado. (b) Motoredutor ortogonal, eixo oco com sem fim/correa (c) Motoredutor ortogonal, eixo oco com par cônico. (d) Motoredutor com eixos paralelos com eixo oco. .... | 62 |
| Figura 46. Correia transportadora com travessas. ....                                                                                                                                                                                               | 63 |
| Figura 47. Esteira com travessa plana. Esteira com travessa arredondada. ....                                                                                                                                                                       | 63 |
| Figura 48. Correia com ranhuras. ....                                                                                                                                                                                                               | 64 |
| Figura 49. Correia transportadora com travessas e bordos de contenção.....                                                                                                                                                                          | 64 |
| Figura 50. Correia plana sem abaulamento. ....                                                                                                                                                                                                      | 64 |
| Figura 51. Metodologia do trabalho e a delimitação das etapas do projeto. ....                                                                                                                                                                      | 67 |
| Figura 52. Seladora Datadora para Embalagem de Picolé TCH 200 D Barbi, Seladora de pedal - Solda Recravada Horizontal com Datador. ....                                                                                                             | 68 |
| Figura 53. Seladora a Pedal 30 cm Barramento Quente.....                                                                                                                                                                                            | 69 |
| Figura 54. Seladora Automática Para Picolé.....                                                                                                                                                                                                     | 70 |
| Figura 55. Seladora Contínua Horizontal Com Datador Para Picolé, MOD FRD1000W. ....                                                                                                                                                                 | 70 |
| Figura 56. Seladora Manual 20 cm NACIONAL.....                                                                                                                                                                                                      | 72 |
| Figura 57. Seladora Térmica Manual Westpress.....                                                                                                                                                                                                   | 72 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 58. Seladora Selamil Portatil De Mesa 30 cm.....                                                  | 73  |
| Figura 59. Croqui de projeto de seladora utilizando um came – seguidor. ....                             | 74  |
| Figura 60. Croqui de projeto de seladora utilizando um came – seguidor que possa selar dois picolés..... | 75  |
| Figura 61. Croqui de projeto de seladora utilizando um atuador pneumático.....                           | 75  |
| Figura 62. Croqui de projeto de seladora utilizando o mecanismo de biela – manivela. ....                | 76  |
| Figura 63. Embalagens para picolés. ....                                                                 | 82  |
| Figura 64. Fôrma mais utilizada para fabricação de picolés. ....                                         | 83  |
| Figura 65. Fôrmas picolés. ....                                                                          | 84  |
| Figura 66. Fôrmas para paletas mexicanas. ....                                                           | 84  |
| Figura 67. Dimensões da travessa. ....                                                                   | 85  |
| Figura 68. Área de acomodação dos picolés embalados. ....                                                | 85  |
| Figura 69. Diâmetro selecionado para os tambores.....                                                    | 86  |
| Figura 70. Correia transportadora com travessas. ....                                                    | 86  |
| Figura 71. Correia com o revestimento. ....                                                              | 89  |
| Figura 72. Dimensões básicas dos tambores. ....                                                          | 89  |
| Figura 73. Tambor e o eixo. ....                                                                         | 91  |
| Figura 74. Tambores sem revestimento.....                                                                | 91  |
| Figura 75. Revestimento tipo espinha-de-peixe. ....                                                      | 92  |
| Figura 76. Tambor revestido com borracha.....                                                            | 92  |
| Figura 77. Tambor de acionamento e o eixo. ....                                                          | 93  |
| Figura 78. Esteira como roletes triplos.....                                                             | 93  |
| Figura 79. Ponto do eixo dos rolos.....                                                                  | 95  |
| Figura 80. Rolete. ....                                                                                  | 96  |
| Figura 81. Diagrama de deslocamento para construção do perfil do came.....                               | 102 |
| Figura 82. Perfil do came. ....                                                                          | 103 |
| Figura 83. Came. ....                                                                                    | 104 |
| Figura 84. Dimensões da chaveta. ....                                                                    | 104 |
| Figura 85. Eixo para o came.....                                                                         | 105 |
| Figura 86. Chaveta.....                                                                                  | 105 |
| Figura 87. Dimensões de um mancal. ....                                                                  | 106 |
| Figura 88. Mancal representativo. ....                                                                   | 107 |
| Figura 89. Guia lateria e a montagem dela com esteira.....                                               | 113 |
| Figura 90. Caixa estrutural (carcaça).....                                                               | 113 |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 91. Esteira com motor posicionado na lateral. ....                   | 116 |
| Figura 92. Seguidor. ....                                                   | 117 |
| Figura 93. Bandeja.....                                                     | 119 |
| Figura 94. Posicionamento dos roletes. ....                                 | 120 |
| Figura 95. Roletes, tambores, correia e revestimento.....                   | 120 |
| Figura 96. Detalhe do came, seguidor, mola, placa de selagem e mancal. .... | 120 |
| Figura 97. Carcaça e o espaço para o motor.....                             | 121 |
| Figura 98. Vistas da máquina seladora. ....                                 | 121 |
| Figura 99. Vista da seladora. ....                                          | 121 |
| Figura 100. Detalhe do seguidor alinhado com a esteira.....                 | 122 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1. Divisões proporcionais e somatório.....                                                      | 33  |
| Tabela 2. Fatores de Came para movimentos básicos. ....                                                | 48  |
| Tabela 3. Dados coletados sobre as principais máquinas seladoras no mercado. ....                      | 71  |
| Tabela 4. Dados sobre as principais máquinas seladoras de acionamento manual. ....                     | 73  |
| Tabela 5. Comparação dos elementos utilizados para a selagem. ....                                     | 76  |
| Tabela 6. As principais soluções. ....                                                                 | 79  |
| Tabela 7. Concepções que atendem ao objetivo global.....                                               | 80  |
| Tabela 8. Comparação entre as concepções de projeto. ....                                              | 81  |
| Tabela 9. Velocidades máximas recomendadas. ....                                                       | 87  |
| Tabela 10. Comprimentos normalizados de tambores (l) em mm.....                                        | 90  |
| Tabela 11. Centro a centro normalizado de mancais (L) em mm.....                                       | 90  |
| Tabela 12. Diâmetros normalizados no eixo no mancal (d1).....                                          | 91  |
| Tabela 13. Espessura mínima do cilindro em mm. ....                                                    | 91  |
| Tabela 14. Distância entre apoios do rolete. Dimensões em milímetros.....                              | 94  |
| Tabela 15. Classificação. ....                                                                         | 95  |
| Tabela 16. Dimensões das pontas de eixo dos rolos em mm. ....                                          | 96  |
| Tabela 17. Comprimento dos rolos em mm. ....                                                           | 96  |
| Tabela 18. Velocidade de rotação do rolo (rpm).....                                                    | 97  |
| Tabela 19. Potência Nv (hp) para acionar o transportador vazio a 1 m/s. ....                           | 98  |
| Tabela 20. Cálculo do Nv. ....                                                                         | 98  |
| Tabela 21. Cálculo da potência Nv para uma correia com 190 mm de largura e 0,990 m de comprimento..... | 98  |
| Tabela 22. Potência para deslocar 100 ton/h de material em um comprimento L (m) na horizontal.....     | 99  |
| Tabela 23. Potência para vencer o atrito das guias laterais a 1 m/s. ....                              | 99  |
| Tabela 24. Eficiência para seleção do motor. ....                                                      | 100 |
| Tabela 25. Velocidades síncronas para diferentes polos. ....                                           | 101 |
| Tabela 26. Parte da norma DIN 6885. ....                                                               | 105 |
| Tabela 27. ....                                                                                        | 106 |
| Tabela 28. Fórmulas para as características dimensionais das molas de compressão.....                  | 108 |
| Tabela 29. Constante $\alpha$ de condição de extremidades para molas de compressão.....                | 109 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 30. As constantes A e m, para estimativa da resistência mínima de tração de fios comuns de mola. .... | 109 |
| Tabela 31. Tensões torcionais admissíveis máximas de compressão em aplicações estáticas .....                | 110 |
| Tabela 32. Propriedades mecânicas de alguns fios de mola.....                                                | 110 |
| Tabela 33. Dimensionamento da mola de compressão.....                                                        | 111 |
| Tabela 34. Cálculo das dimensões da mola. ....                                                               | 112 |
| Tabela 35. Materiais para fabricação dos roletes. ....                                                       | 115 |

# SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>                                        | <b>9</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                            | <b>13</b> |
| <b>SUMÁRIO.....</b>                                                     | <b>15</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                | <b>13</b> |
| 1.1. OBJETIVO GERAL.....                                                | 13        |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                        | 13        |
| 1.3. JUSTIFICATIVA .....                                                | 14        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                       | <b>15</b> |
| 2.1. CAMES.....                                                         | 15        |
| 2.1.1. Definição .....                                                  | 15        |
| 2.1.2. Funcionamento e Aplicações .....                                 | 16        |
| 2.1.3. Materiais de Fabricação de Cames.....                            | 17        |
| 2.1.4. Tipos de Seguidores .....                                        | 17        |
| 2.1.5. Tipos de Cames .....                                             | 19        |
| 2.1.5.1. Came de Disco.....                                             | 19        |
| 2.1.5.2. Came de Tambor .....                                           | 20        |
| 2.1.5.3. Came Frontal .....                                             | 21        |
| 2.1.5.4. Quadro com Came .....                                          | 21        |
| 2.1.5.5. Cames de Palminha .....                                        | 23        |
| 2.1.6. Nomenclatura do Came De Disco.....                               | 23        |
| 2.1.7. Tipos de Restrições de Movimento e os Tipos de Movimentação..... | 25        |
| 2.1.8. Lei Fundamental de Projeto de Came .....                         | 26        |
| 2.1.9. Diagramas.....                                                   | 26        |
| 2.1.9.1. Movimento Uniforme .....                                       | 28        |
| 2.1.9.2. Movimento Harmônico Simples.....                               | 30        |
| 2.1.9.3. Movimento Parabólico .....                                     | 32        |

|           |                                                                        |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.9.4.  | Funções Polinomiais.....                                               | 35        |
| 2.1.9.5.  | Movimento Cicloidal.....                                               | 35        |
| 2.1.10.   | Desenho do Perfil de um Came De Disco com Seguidor de Translação ..... | 40        |
| 2.1.11.   | Ângulo de Pressão e Raio de Curvatura .....                            | 43        |
| 2.1.11.1. | Ângulo De Pressão .....                                                | 43        |
| 2.1.11.2. | Fator de Came.....                                                     | 47        |
| 2.1.11.3. | Raio de Curvatura para o Seguidor de Rolete de Translação .....        | 48        |
| 2.1.12.   | Comparativo entre os Movimentos .....                                  | 50        |
| 2.1.13.   | Ferramentas de Auxílio para Dimensionar Cames .....                    | 51        |
| 2.2.      | PROJETO DE ENGENHARIA .....                                            | 54        |
| 2.3.      | SISTEMAS HIDROPNEUMÁTICOS .....                                        | 58        |
| 2.4.      | MOTORREDUTORES .....                                                   | 61        |
| 2.5.      | ESTEIRAS TRANSPORTADORAS .....                                         | 62        |
| 2.6.      | EMBALAGENS DE PICOLÉS.....                                             | 65        |
| <b>3</b>  | <b>METODOLOGIA .....</b>                                               | <b>66</b> |
| <b>4</b>  | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                   | <b>68</b> |
| 4.1.      | PROJETO INFORMACIONAL.....                                             | 68        |
| 4.2.      | PROJETO CONCEITUAL.....                                                | 74        |
| 4.3.      | PROJETO PRELIMINAR.....                                                | 82        |
| 4.3.1.    | Correia Transportadora .....                                           | 82        |
| 4.3.2.    | Revestimento.....                                                      | 88        |
| 4.3.3.    | Tambores.....                                                          | 89        |
| 4.3.4.    | Roletes.....                                                           | 93        |
| 4.3.5.    | Motor.....                                                             | 97        |
| 4.3.6.    | Came.....                                                              | 101       |
| 4.3.7.    | Eixo do Came e a Chaveta .....                                         | 104       |
| 4.3.8.    | Mancal para o Eixo do Came .....                                       | 105       |

|          |                                         |            |
|----------|-----------------------------------------|------------|
| 4.3.9.   | Seguidor .....                          | 107        |
| 4.3.10.  | Mola de Retorno .....                   | 108        |
| 4.3.11.  | Motor de Acionamento do Came.....       | 112        |
| 4.3.12.  | Guias Laterais .....                    | 113        |
| 4.3.13.  | Carcaça .....                           | 113        |
| 4.4.     | PROJETO DETALHADO .....                 | 114        |
| 4.4.1.   | Correia.....                            | 114        |
| 4.4.2.   | Revestimento.....                       | 114        |
| 4.4.3.   | Tambores.....                           | 115        |
| 4.4.4.   | Roletes.....                            | 115        |
| 4.4.5.   | Motorreductor – Esteira .....           | 115        |
| 4.4.6.   | Came.....                               | 117        |
| 4.4.7.   | Eixo do Came e a Chaveta .....          | 117        |
| 4.4.8.   | Seguidor .....                          | 117        |
| 4.4.9.   | Mola de Retorno.....                    | 118        |
| 4.4.10.  | Motorreductor para o Came .....         | 118        |
| 4.4.11.  | Guias Laterais e Carcaça .....          | 119        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                  | <b>123</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>124</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

Se tratando de picolés, a questão inquietante não está na fabricação do alimento cujas etapas são praticamente as mesmas em todas fábricas, mas está em uma etapa: a selagem das embalagens que contém o produto citado.

Algumas fábricas de médio e pequeno porte foram conhecidas no intuito de identificar qual máquina seladora dentre as oferecidas no mercado era a preferida dentre os donos das fábricas. Percebeu-se que muitas dessas fábricas preferem improvisar em seus procedimentos para realizar a selagem do que adquirir alguma dessas máquinas ofertadas no mercado.

Algumas das máquinas existentes no mercado ocupam bastante espaço, consomem muita energia, além do alto custo de aquisição o que leva a pouca presença nas fábricas abordadas. Para atender tais fábricas são necessários equipamentos de custos mais baixos, com eficiência satisfatória, com menor consumo de energia, simplicidade de execução e por fim, equipamentos compactos que se adequem melhor ao espaço físico que compõe as mesmas.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

Pretende-se realizar um projeto até a etapa de detalhamento (algumas fases) de uma máquina para selar embalagens de picolés, se viável, com a aplicação de mecanismo do tipo came – seguidor.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um referencial teórico sobre projeto de máquinas de selagem de embalagens, os conceitos teóricos; todas as equações e fórmulas utilizadas;
- Avaliar possíveis soluções;
- Investigar as variáveis encontradas no posto de trabalho;
- Aplicar as etapas de metodologia do projeto;
- Determinar as matrizes de decisões;
- Avaliar a viabilidade das soluções conforme os cálculos forem sendo realizados;
- Sugerir a melhor solução viável, eficiente e esteticamente comercial.
- Utilizar o software Autodesk Inventor Professional 2015.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

Existem equipamentos de grande porte, no que se refere as suas dimensões, projetados para executar tarefas relativamente simples, tomando-se como exemplo as máquinas existentes utilizadas para selar (soldar) embalagens de picolés. A seladora mais acessível encontrada no mercado, que se utiliza de uma barra aquecida para a selagem cuja operação é totalmente manual, é muito pouco utilizada, visto que um funcionário com alguns procedimentos táticos consegue selar mais picolés para um mesmo intervalo de tempo do que o que conseguiria selar se utilizasse seladora desse tipo.

Outras máquinas (algumas compactas), que exigem menos trabalho manual do operador, são eficientes quanto a selagem e o seu tempo de execução, entretanto algumas delas são de difícil manutenção, difícil operação (necessita de uma certa especialização) e são vistas como sendo de médio a alto custo para os donos dessas fábricas citadas que visam uma melhor otimização nas etapas de produção, buscando agilidade no setor de embalagens. Para atender as fábricas (sorveterias) de médio e pequeno porte em suas necessidades quanto à facilidade de manuseio, menor consumo de energia e equipamento compacto, pretende-se projetar uma máquina com estas características. As máquinas existentes são a base de rolos ou barras. Pretende-se projetar um equipamento que utilize o elemento came - seguidor e com isso conseguir também um equipamento mais leve além das características intrínsecas.

A razão deste trabalho é a pretensão de se aplicar os conhecimentos adquiridos em disciplinas como Mecanismos, Elementos de Máquinas, Resistência dos Materiais e outras ao longo do curso, na elaboração de um equipamento que atenda necessidades reais existentes nas fábricas citadas quanto ao problema abordado. Para qualquer discente de engenharia, a prática de projetos justifica sua importância por aprimorar habilidades do estudante como a identificação e a solução de problemas de engenharia associados com máquinas e mecanismos, além possibilitar ao aluno produzir etapas como: avaliar acelerações, posições e velocidade nos projetos; analisar comportamentos dos mecanismos; dimensionar componentes; identificar mecanismos e seu funcionamento; escolher e analisar materiais e custos; planejar a fabricação ou fabricar; indicar otimizações possíveis serem feitas; dentre outras.

Com relação a máquina seladora de picolés, pretende-se verificar a viabilidade do uso de algum dos tipos de came – seguidor, pois se comparado com alguns mecanismos, os comes são de mais fácil projeto, além de possibilitar o projeto de uma máquina compacta, podendo assim também atender a espaços físicos de fábricas menores. Sabendo que o processo de selagem de embalagens de picolés está associado a velocidade de selamento e a quantidade de

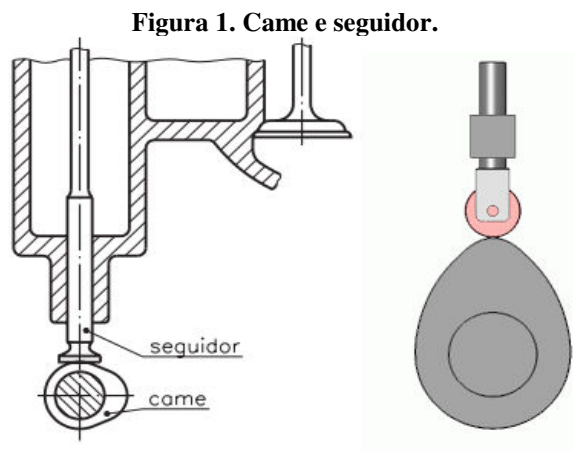
picolés que são selados em um determinado período de tempo, uma seladora com boa eficiência e adequadas velocidades de trabalho poderão contribuir significativamente para a otimização da produção de picolés.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. CAMES

#### 2.1.1. Definição

O came é um elemento mecânico usado para acionar outro elemento, chamado seguidor, por meio de contato direto. É um elemento de máquina cuja superfície tem um determinado formato. Normalmente, há um excêntrico, isto é, essa superfície possui uma excentricidade que produz movimento num segundo elemento denominado seguidor, figura 1.



Fonte: Autor desconhecido<sup>1</sup>.

O came opera junto a uma roda ou eixo giratório projetado para transmitir um movimento alternado ou variável a um outro mecanismo. Dentre as características das comes têm-se:

- Os comes são simples,
- Considerados de projeto fácil,

<sup>1</sup> Disponível separadamente em:

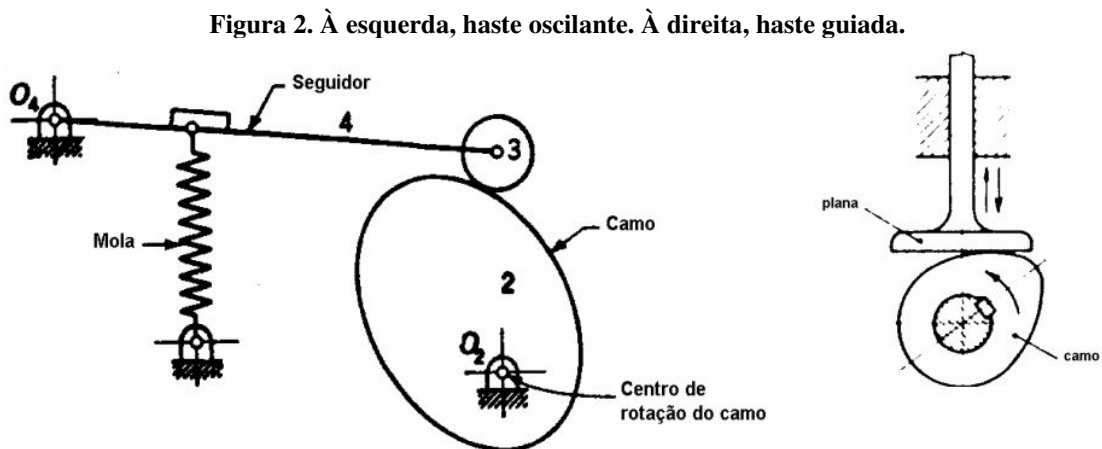
<<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>> e

<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Came\\_\(mec%C3%A2nica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Came_(mec%C3%A2nica))>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

- É um mecanismo compacto,
- Permite obter qualquer movimento para o seguidor,
- Podem ser de difícil fabricação dependendo do perfil.
- Se o projeto ficar inadequado, ocorrerá deficiência de funcionamento,
- Podem ser utilizados em máquinas operatrizes diversas,
- São mais usados em eixo comando de válvulas de motores de combustão interna.

### 2.1.2. Funcionamento e Aplicações

Normalmente os cames são empregados para a transformação do movimento de rotação de um elemento em movimento alternado de um outro elemento. A peça fixada ao elemento de rotação é o came, este é sempre o elemento motor. Ao elemento comandado é dado o nome de seguidor, que, por sua vez, pode ser chamado de haste oscilante, quando o movimento é angular, ou haste guiada, quando o movimento é retilíneo (Apostila de Cames<sup>2</sup>).



Fonte: Apostila de Cames<sup>3</sup>.

Os cames são muito usados pelas seguintes características: baixo custo, poucas partes móveis e pouco espaço requerido. São largamente utilizados em máquinas, sendo encontrados em motores de combustão interna, máquinas tipográficas, máquinas operatrizes, máquinas têxteis, máquinas ferramentas, máquinas automáticas de embalar, armas automáticas,

<sup>2</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

<sup>3</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

dispositivos de comandos, maquinaria para fabricar sapatos, tornos automáticos, comando de válvulas, etc. Dificilmente encontram-se máquinas automáticas que não possuam cames.

Todos os mecanismos de cames compõem-se de pelo menos três elos:

- O came que tem uma superfície de contato curva ou direita.
- O seguidor que através de uma vareta realiza o movimento produzido pelo contato com o perfil do came.
- A bancada, a qual serve de suporte.

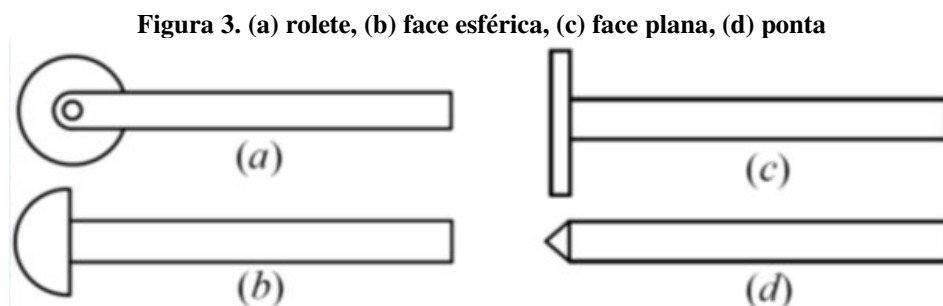
### 2.1.3. Materiais de Fabricação de Cames

Os cames são selecionados conforme a aplicação, os esforços mecânicos, o meio onde vão operar, enfim, as condições posteriores de trabalho. Assim sendo, os cames são diversificados também no material de sua composição. Podem ser fabricados de: madeira, metal e plástico (RICARDO, 2014).

### 2.1.4. Tipos de Seguidores

A classificação dos seguidores é dada de acordo com: o tipo de movimento que o mesmo realiza; a trajetória do deslocamento em relação à linha de centro do came; e com a superfície do seguidor, face plana, esférica, face de rolamento ou aresta.

De acordo com a superfície do seguidor, mostrado na figura 3, tem-se que os seguidores podem ser de rolete, face esférica ou cilíndrica, face plana, ou de ponta.

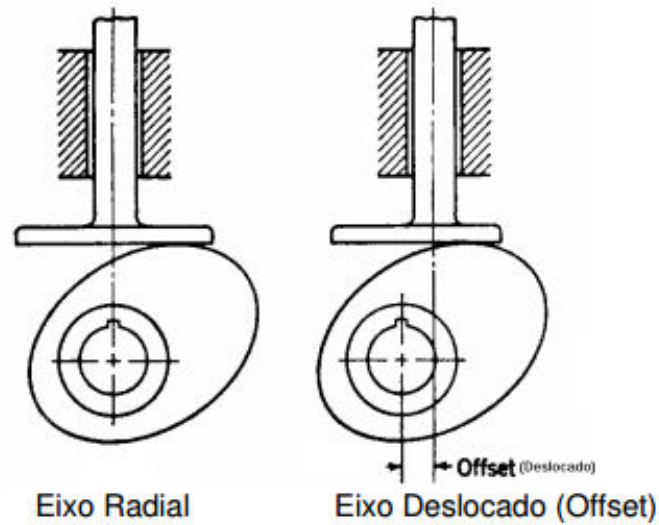


Fonte: Capítulo 3 – Cames<sup>4</sup>.

Quanto a posição em relação ao eixo de giro do came (figura 4) pode estar alinhado com ele ou afastado do mesmo, ou seja, pode ser radial ou deslocada.

<sup>4</sup> Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/356024/>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

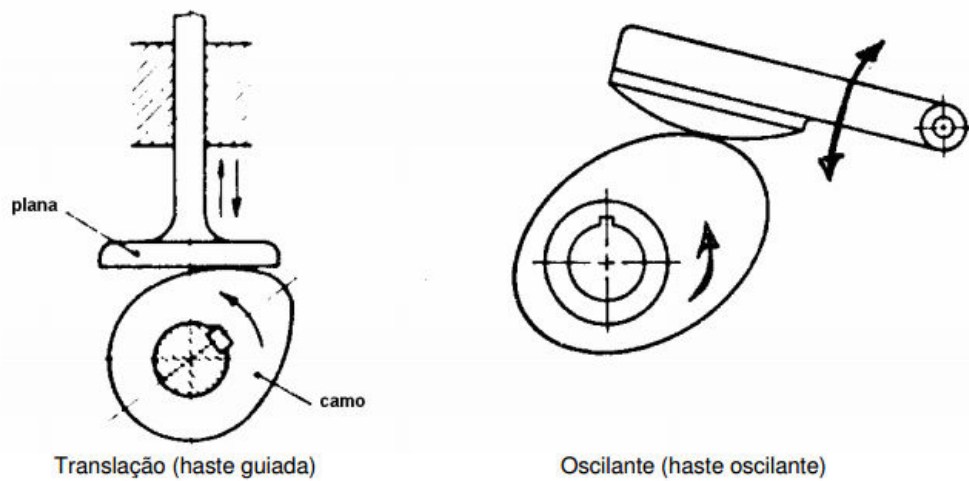
**Figura 4. Posições dos seguidores em relação ao eixo de giro do came.**



Fonte: Apostila de Cames<sup>5</sup>.

Quanto ao tipo de deslocamento do seguidor, pode ser de translação ou de rotação.

**Figura 5. Modos de deslocamento do seguidor.**



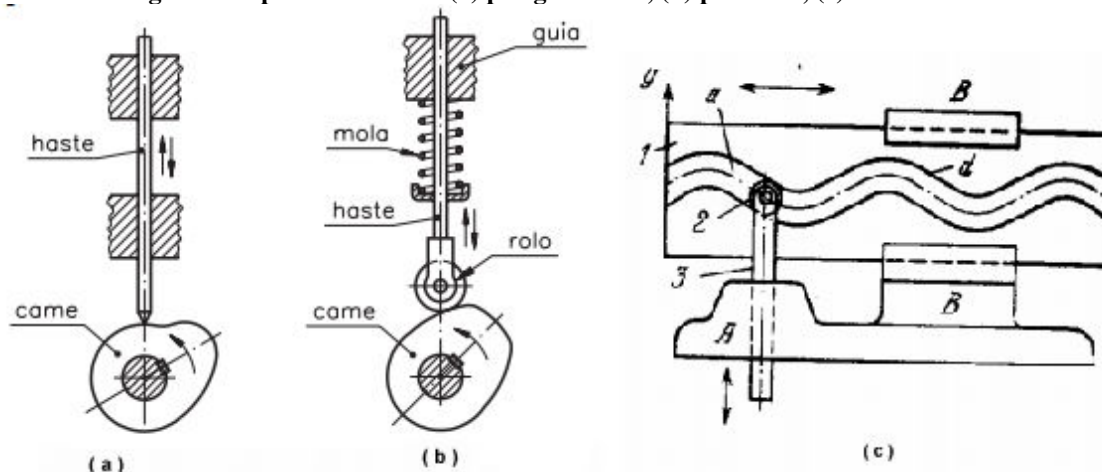
Fonte: Apostila de Cames<sup>6</sup>.

Tem-se ainda uma última classificação de seguidores relacionada com o tipo de retorno que pode ser por gravidade, por mola, ou comandado.

<sup>5</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

<sup>6</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

Figura 6. Tipos de retornos. (a) por gravidade, (b) por mola, (c) comandado.



Fonte: Apostila de Cames<sup>7</sup>.

### 2.1.5. Tipos de Cames

A primeira classificação dada aos cames são quanto movimento do seguidor, ou seja, cames axiais e cames radiais.

Nos cames radiais, também chamados de cames – prato, o seguidor movimenta-se na direção radial relativa ao eixo de rotação do came. Nos axiais, o seguidor move-se de na direção paralela ao eixo de rotação do came (NORTON, 2010).

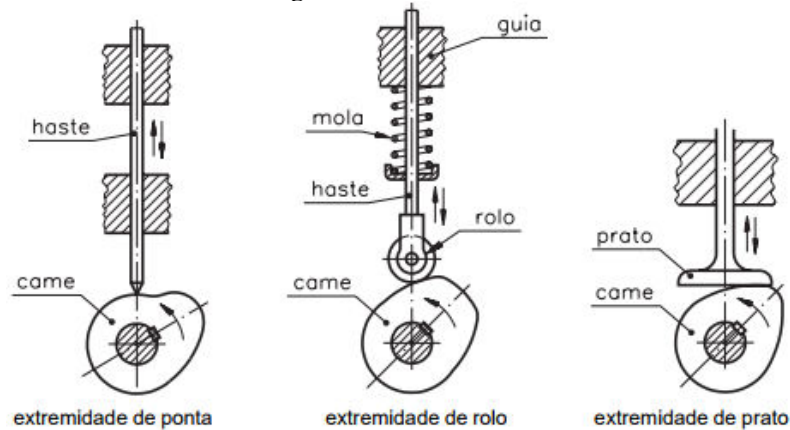
Há ainda o came tridimensional ou camoide, ou seja, é a combinação dos dois movimentos, axial e radial, portanto o sistema terá dois graus de liberdade. As duas entradas são a rotação do came com relação ao eixo e a translação do came ao longo de seu eixo. O seguidor tem seu deslocamento em função das duas entradas (NORTON, 2010).

Na segunda classificação, os cames são rotulados de acordo com sua forma, sendo o came de disco considerado de uso mais comum. São, de maneira geral, classificadas nos tipos: de disco, de tambor, frontal e de quadro (AULA 38 – CAME).

#### 2.1.5.1. Came de Disco

É um came rotativo e excêntrico, composto de um determinado disco que gira à velocidade constante, fixado a um eixo. Este comanda o movimento alternativo axial periódico do seguidor. Podendo este ser de ponta, de rolo e de prato (face plana). (AULA 38 – CAME).

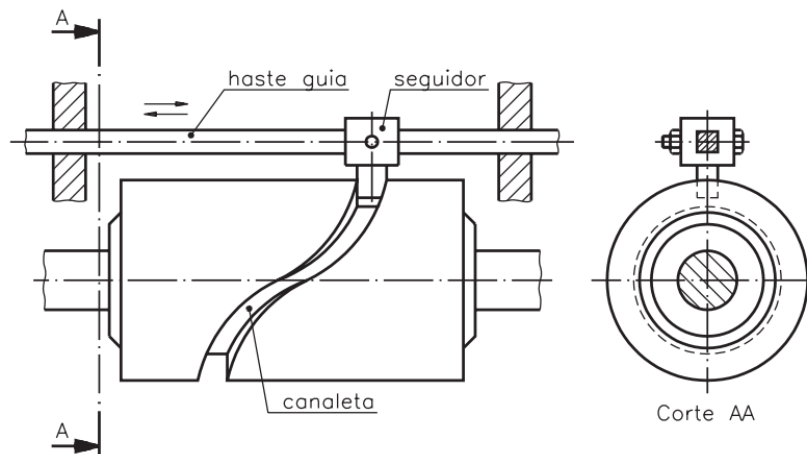
<sup>7</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

**Figura 7. Came de disco.**

Fonte: AULA 38 – CAME<sup>8</sup>.

### 2.1.5.2. Came de Tambor

Os comes de tambor possuem, em geral, formato de cilindro ou cone sobre o qual é feita uma ranhura ou canaleta. Durante a rotação do cilindro em movimento uniforme, ocorre deslocamento do seguidor sobre a ranhura. O seguidor é perpendicular à linha de centro do tambor e é fixado a uma haste guia (AULA 38 – CAME ).

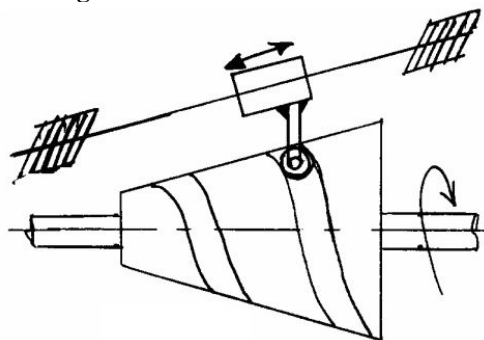
**Figura 8. Came de tambor cilíndrico.**

Fonte: AULA 38 – CAME<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Disponível em em <<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Acesso em 18 de agosto e 2017.

<sup>9</sup> Disponível em em <<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Acesso em 18 de agosto e 2017.

**Figura 9. Came de tambor cônico.**

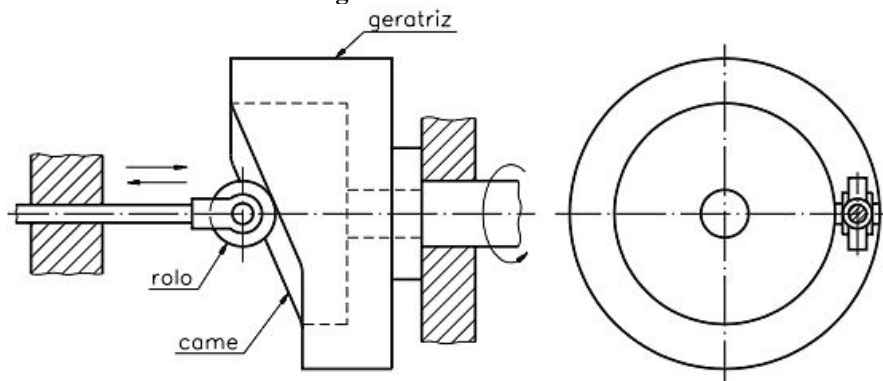


**Fonte: Apostila sobre Cames<sup>10</sup>.**

### 2.1.5.3. Came Frontal

Tem a forma de um cilindro seccionado, sendo que as geratrizes têm comprimentos variados. Durante a rotação do cilindro em movimento uniforme, ocorre o movimento alternativo axial periódico do seguidor, paralelo à geratriz do tambor.

**Figura 10. Came frontal.**



**Fonte: AULA 38 – CAME<sup>11</sup>.**

### 2.1.5.4. Quadro com Came

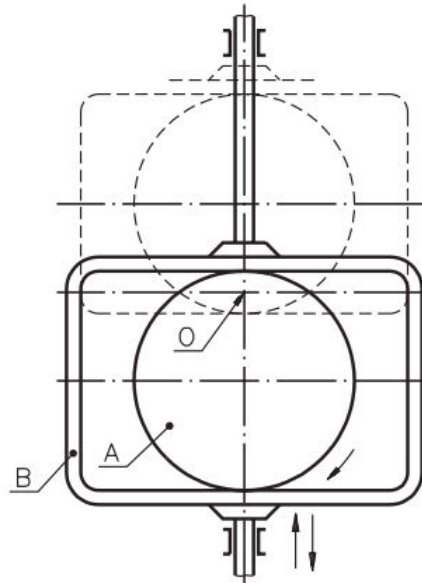
Existem o quadro com came circular e o quadro com came triangular. O primeiro é constituído de um quadro que encerra um disco circular (figura 11).

Na figura 11, o disco (A), ao girar pelo eixo (O), com movimento uniforme, faz com que o quadro (B) se desloque com movimentos alternados de vaivém.

<sup>10</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

<sup>11</sup> Disponível em <<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

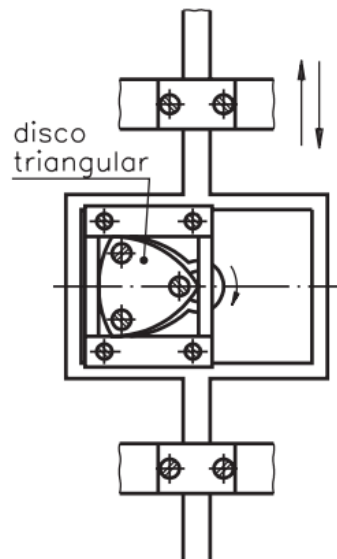
**Figura 11. Quadro com came de disco circular.**



**Fonte: AULA 38 – CAME<sup>12</sup>.**

O segundo é constituído de um quadro retangular que encerra um disco triangular. Os lados desse disco são arcos de circunferência. O disco triangular, ao girar com movimento circular uniforme, conduz o quadro num movimento alternado variado (AULA 38 – CAME).

**Figura 12. Quadro com came triangular.**



**Fonte: AULA 38 – CAME<sup>13</sup>.**

<sup>12</sup> Disponível em em <<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Acesso em 18 de agosto e 2017.

<sup>13</sup> Disponível em em <<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Acesso em 18 de agosto e 2017.

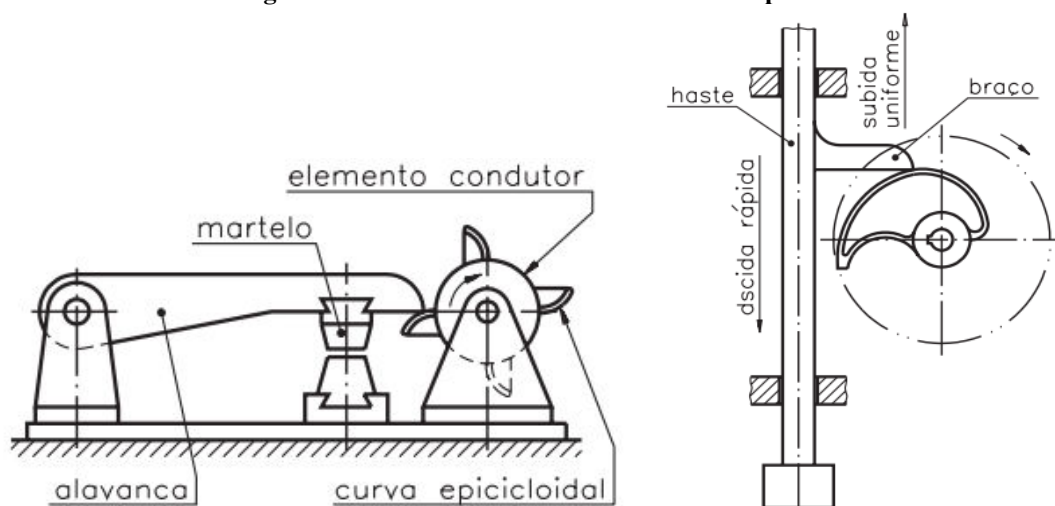
### 2.1.5.5. Cames de Palminha

Há ainda outros interessantes arranjos de cames chamados de cames de palminha. Palminhas são cames que transformam o movimento circular contínuo em movimento intermitente de queda. Existem palminhas de martelo e de pilão.

Na palminha de martelo (figura 13) a distância entre os dentes do elemento condutor deve ter dimensões que evitem a queda da alavanca sobre o dente seguinte. Portanto, é preciso que, durante a queda da alavanca, o elemento condutor permaneça girando (AULA 38 – CAME).

Na palminha de pilão (figura 14), o elemento condutor deve ser perfilado de modo que, durante o movimento circular, a haste do pilão faça com que o movimento de subida seja uniforme e a sua descida seja rápida (AULA 38 – CAME).

**Figura 13. Palminha de martelo. Palminha de pilão.**



Fonte: AULA 38 – CAME<sup>14</sup>.

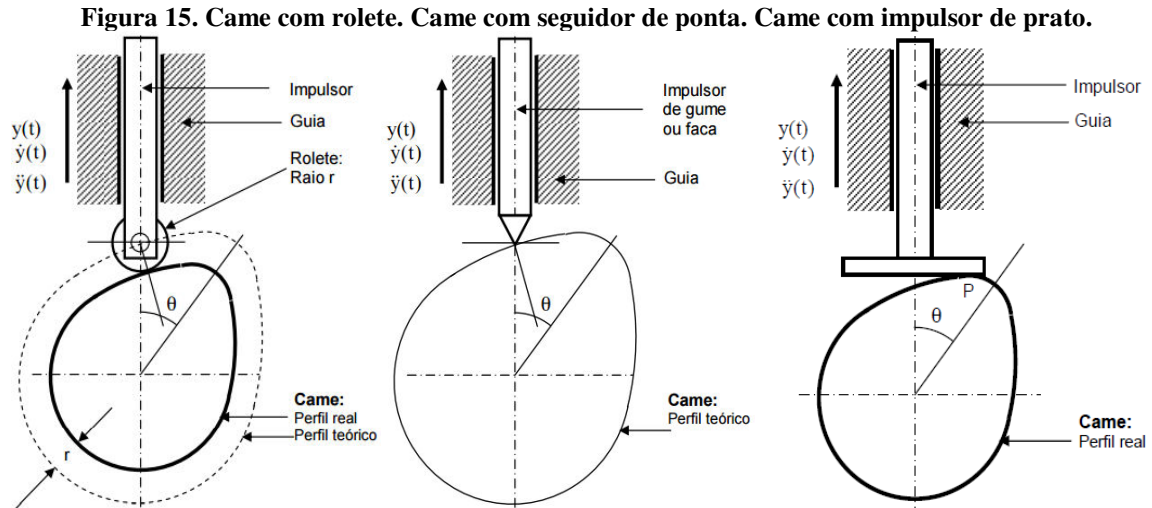
### 2.1.6. Nomenclatura do Came De Disco

Alguns dos conceitos voltados à estrutura da came estão abordados a seguir tomando-se como base o mais simples e mais utilizado que é o came de disco mostrado na figura 14:

- Circunferência principal: é a menor circunferência com o mesmo centro do came e tangente à curva primitiva (CLARO, 2004).

<sup>14</sup> Disponível em em <<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Acesso em 18 de agosto e 2017.





Fonte: MELO e CARNEIRO, 2008.

- Ângulo de ação ( $\beta$ ): é o ângulo de rotação do came para realização de um evento qualquer, subida, descida ou espera.
- $\theta$  é o ângulo do eixo do came.
- Ponto primitivo: é o ponto do perfil primitivo onde o ângulo de pressão é máximo (CLARO, 2004).
- Circunferência primitiva: é uma circunferência com o mesmo centro do came e que passa pelo ponto primitivo (CLARO, 2004). Pode ser desenhado tangente à trajetória da linha de centro do seguidor (NORTON, 2010).

Independente do seguidor, de rolete, face plana ou de ponta, um mesmo came impulsionando numa vez um impulsor dará o mesmo levantamento máximo, mas a lei de variação do levantamento em função do ângulo de posição ( $\theta$ ) será diferente, assim como diferentes serão a velocidade  $y'(t)$  e a aceleração  $y''(t)$ .

### 2.1.7. Tipos de Restrições de Movimento e os Tipos de Movimentação

Existem duas categorias gerais de restrições de movimentos segundo NORTON, 2010:

- Posição extrema crítica (PEC, especificação do ponto final): quando se tem especificadas as posições de início e fim do seguidor, mas não se tem especificado alguma possível restrição no percurso entre as duas posições. É de mais fácil projeção, porque o projetista tem liberdade em escolher a função do came e controlar o movimento entre as posições inicial e final.

- Percurso de movimento crítico (PMC): o percurso e suas derivadas precisam ser definidas em todo ou em parte do intervalo de movimento, através de uma função especificada. Só é possível criar uma aproximação desta função.

Os came obedecem um programa de movimentação em seu funcionamento que podem ser de sobe – desce (SD), sobe – desce – para (SDP) e sobe – para – desce – para (SPDP). São essenciais para definir-se o tempo e a quantidade de esperas em um ciclo completo de movimentação: SD – nenhuma, SDP – uma, SPDP – mais de uma. Deve-se verificar as condições de contorno (CCs) das funções e suas derivações em todas as interfaces entre os segmentos do came (NORTON, 2010).

### **2.1.8. Lei Fundamental de Projeto de Came**

Antes de serem estudados os diagramas, devem-se considerar alguns pontos para um projeto de came, ou seja, alguns cuidados que devem ser tomados. Para diferentes operações de velocidades bem baixas (NORTON, 2010), têm-se que:

- A função do came deve ser contínua por toda a primeira e segunda derivada do deslocamento durante todo o intervalo ( $360^\circ$ ).
- A função pulso deve ser finita durante todo o intervalo ( $360^\circ$ )
- A função de movimento do came deve se valer por várias funções separadas cada uma definindo o comportamento do seguidor sobre sua parte do came.
- As funções devem ser contínuas até terceira ordem em todos os contornos.
- As funções de deslocamento, velocidade e da aceleração não podem ter descontinuidades.
- As funções polinomiais devem começar com, no mínimo, sendo de quinto grau para o deslocamento. Tem-se assim uma função cúbica para a aceleração. A função parabólica do pulso terá descontinuidades, mas continuará finito.

### **2.1.9. Diagramas**

Depois do movimento escolhido do came conhecendo os pontos desejados de início e fim, a primeira meta é selecionar a função matemática a ser usada para definir o movimento do seguidor. De forma sucinta pode-se seguir os seguintes passos:

- Desenvolver o came a partir de uma forma circular;

- Considerá-la uma função ( $s$ ) desenhada nos eixos cartesianos;
- Traçar a função do deslocamento;
- Com a primeira derivada, tem-se a velocidade ( $v$ );
- Com a segunda derivada, tem-se a aceleração ( $a$ );
- Com a terceira derivada, tem-se o pulso ( $j$ ).

Tudo em função do ângulo do came ( $\theta$ ). A variável independente é o tempo ( $t$ ), e conhecendo-se a velocidade angular ( $\omega$ ) do eixo da came tem-se:

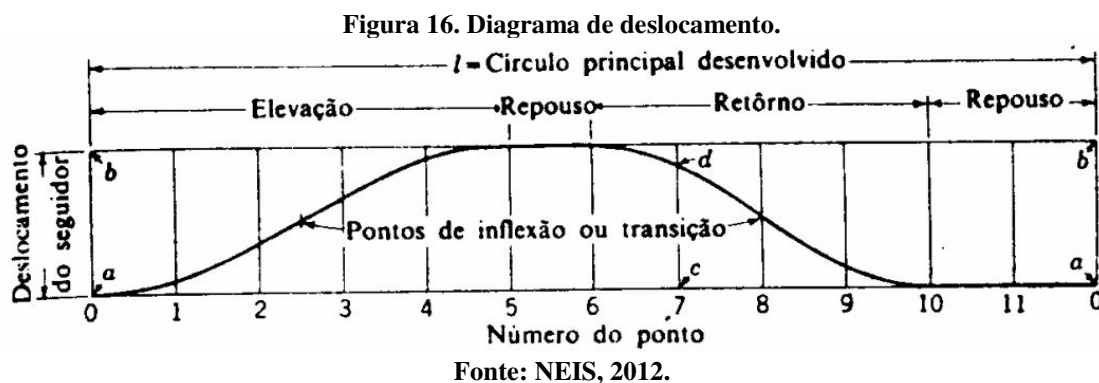
$$\theta = \omega \cdot t$$

A geometria de um came é determinada pelo movimento que se pretende induzir ao seguidor. O problema resolve-se mais facilmente com uma inversão do mecanismo, ou seja, considerando o came estacionário e o seguidor em rotação em sentido oposto, obtendo-se assim o denominado Diagrama de Deslocamento (CLARO, 2004). Assim poderão também ser descritos a função e suas derivadas em função do tempo ao invés do ângulo de rotação do came.

O processo de entendimento de um came inicia-se pelo traçado do referido diagrama, em que (CLARO, 2004):

- A abscissa corresponde aos 360° de rotação completa do came, (devendo ter o perímetro da circunferência principal);
- A ordenada representa o deslocamento linear pretendido do seguidor.

No diagrama apresentado na figura 16 podem-se identificar os períodos de subida, de retorno e de repouso (ou parada) quer ‘em cima’ quer ‘em baixo’ do seguidor (CLARO, 2004). É importante ressaltar que um came pode apresentar vários destes estágios ao longo de uma única rotação.



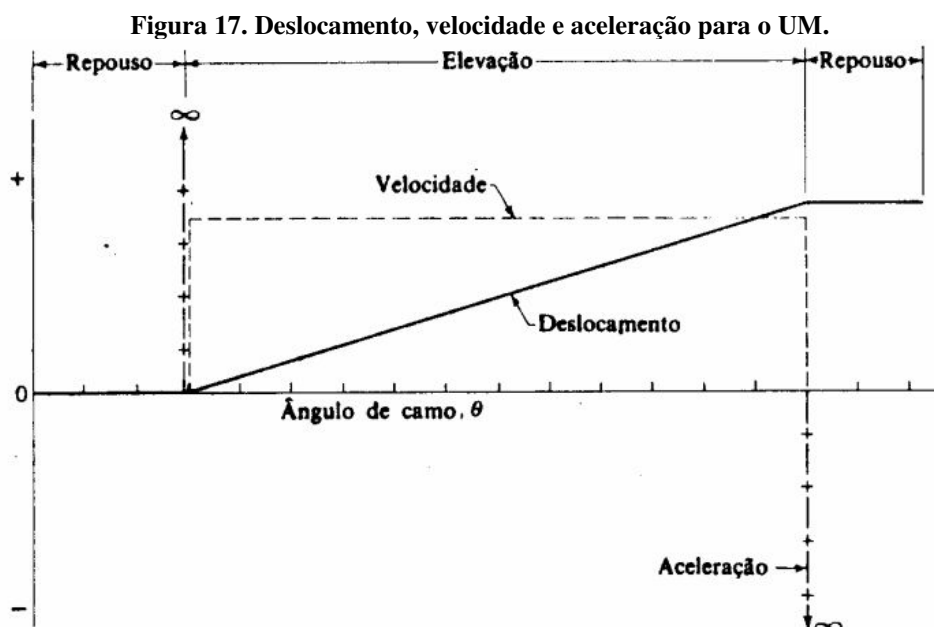
A existência de pontos de inflexão das curvas corresponde aos pontos primitivos do traçado do came e que, coincidindo com a maior inclinação da curva primitiva, se traduzem nos pontos de ângulo de pressão máximo (CLARO, 2004).

A abscissa do diagrama divide-se num número conveniente de partes (mais usual 12 intervalos de  $30^\circ$ ), dependendo unicamente da precisão requerida para o traçado, correspondendo a setores angulares de rotação do próprio came (CLARO, 2004).

Os diagramas são gráficos representativos, do deslocamento real do ponto de traçado em função de  $\theta$  que é o ângulo real de ação do came. Tem-se o diagrama de acordo com o tipo de movimento que pode ser: movimento uniforme (MU), movimento harmônico simples (MHS), movimento parabólico (MP), movimento cicloidal (MC), movimento com funções polinomiais, entre outros. Serão abordados alguns destes movimentos, suas funções e seus respectivos diagramas.

#### 2.1.9.1. Movimento Uniforme

Neste caso tem-se que o movimento do seguidor é dado no diagrama por retas, figura 18, conforme esteja se movendo ou em repouso.



Fonte: NEIS, 2012.

O deslocamento do movimento uniforme é uma reta com inclinação constante:

$$s = C \cdot \theta$$

Onde  $C$  é uma constante e  $\theta$  o ângulo de rotação da came.

Considerando que se pretende atingir uma elevação total ( $h$ ) numa rotação ( $\beta$ ) em radianos, então:

$$h = \frac{C}{\beta} \quad \rightarrow \quad C = \frac{h}{\beta} \quad \rightarrow \quad s = \frac{h}{\beta} \cdot \theta$$

Logo a velocidade é constante:

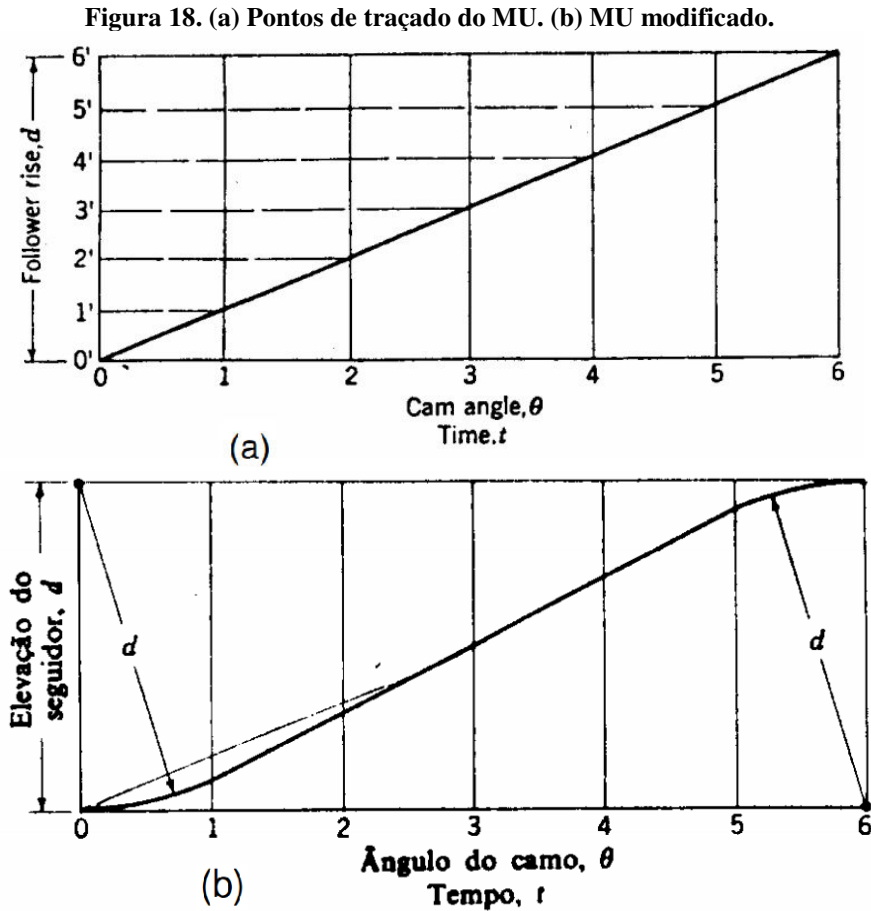
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{h}{\beta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad \rightarrow \quad v = \frac{h}{\beta} \omega$$

E a aceleração é nula visto que a velocidade angular ( $\omega$ ) é constante. No caso de o movimento ser de descida, e não de subida como o ilustrado, a análise e respectivas conclusões seriam idênticas, sendo apenas necessário ajustar o sinal nas equações acima.

A passagem do repouso para a velocidade constante é uma passagem abrupta (e vice-versa), o que ocasiona rampas de início e fim na função de deslocamento, provocando acelerações infinitas, estas rampas podem ser modificadas com um arco circular, figura 19. (b).

A situação da existência de acelerações teoricamente infinitas na zona de transição (figura 19. (b)) levaria à geração de forças elevadíssimas no início do movimento e à impossibilidade do seguidor se manter em contato com a superfície da came, no fim da subida. Questões similares se põem na sua utilização para o retorno (descida) do seguidor (CLARO, 2004).

Assim, uma solução simples reside no 'arredondamento' das zonas de transição, com o auxílio de arcos de raio igual à elevação total (CLARO, 2004).



Fonte: CLARO, 2004.

#### 2.1.9.2. Movimento Harmônico Simples

As funções harmônicas são as mais utilizadas para a projeção de cames, porque possuem a propriedade de permanecerem contínuas em qualquer número e ordem de derivação. Assim, tanto para o deslocamento, quanto para a velocidade, aceleração e para o pulso têm-se funções harmônicas, como pode-se observar na figura 19.

As equações para o MHS para a subida (NORTON, 2010), são:

$$s = \frac{h}{2} \left[ 1 - \cos \left( \pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right]$$

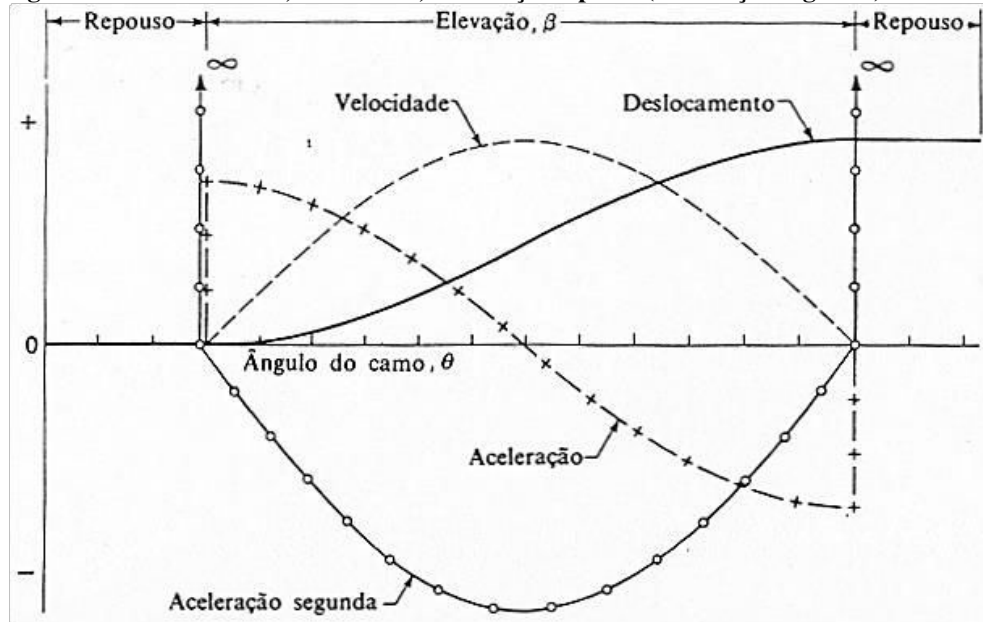
$$v = \frac{\pi h}{\beta} \sin \left( \pi \frac{\theta}{\beta} \right)$$

$$a = \frac{\pi^2 h}{\beta^2} \cos \left( \pi \frac{\theta}{\beta} \right)$$

$$j = -\frac{\pi^3 h}{\beta^3} \sin \left( \pi \frac{\theta}{\beta} \right)$$

Em que  $h$  é a altura de subida total, ou elevação;  $\theta$  é o ângulo do eixo da came; e  $\beta$  é o ângulo total do intervalo de subida. Mais uma informação é  $\theta/\beta$  varia de 0 a 1 em qualquer segmento.

**Figura 19. Deslocamento, velocidade, aceleração e pulso (aceleração segunda) do MHS.**

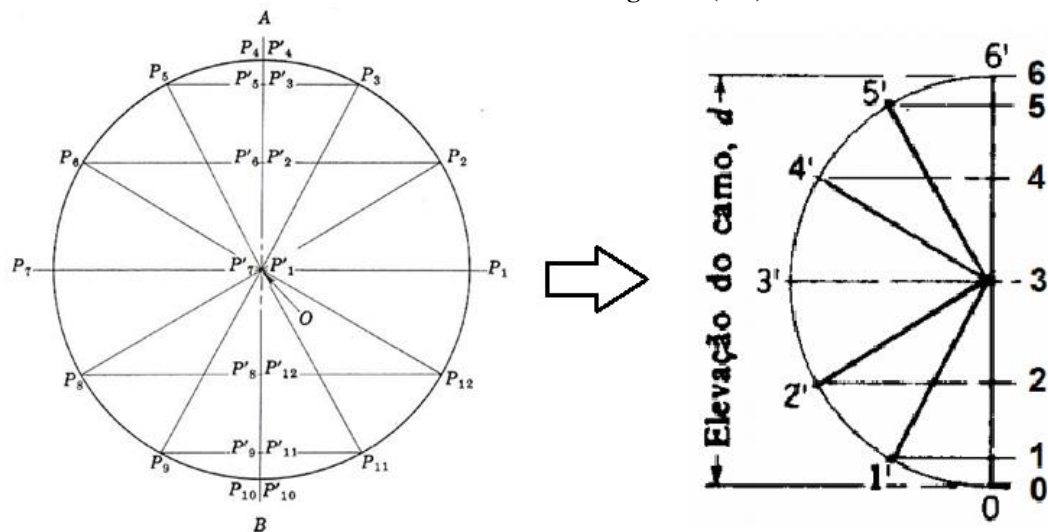


Fonte: NEIS, 2012.

A medida que se vai derivando, a derivada executa uma defasagem de  $90^\circ$  com relação a função. Outro ponto importante nestes conceitos, é que se o movimento harmônico simples conter esperas, a aceleração será descontínua (será visto mais tarde aspectos importantes a esta descontinuidade).

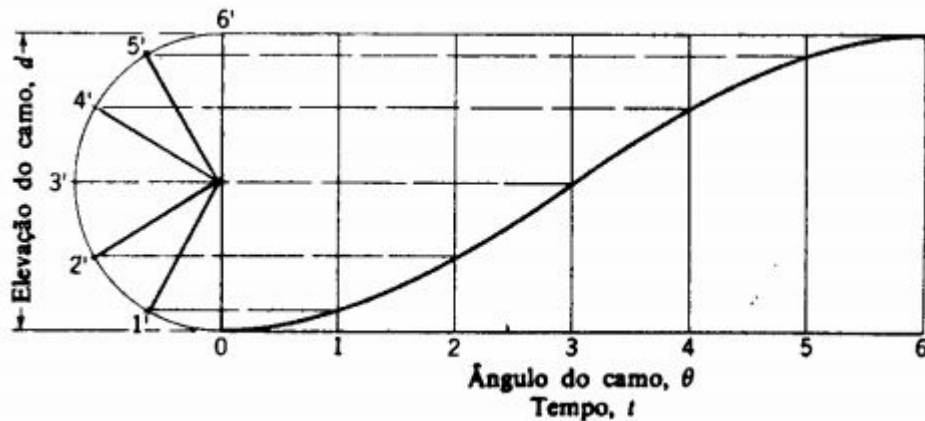
Para a construção do diagrama, traça-se um arco com raio igual ao curso do seguidor no movimento considerado. Projetam-se sobre o diâmetro  $AB$  todas as posições do deslocamento do ponto  $P$ , figura 20. A projeção sobre o diâmetro de um ponto  $P$  que se movimenta com velocidade uniforme, sobre o arco, está em MHS, logo pode-se localizar os pontos de traçado (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6) e construir o diagrama, figura 21.

Figura 20. À esquerda, projeção das posições do ponto P sob o diâmetro AB. À direita, pontos traçados sobre a linha de centro do seguidor (AB).



Fonte: Apostila sobre Cames<sup>15</sup>.

Figura 21. Diagrama de deslocamento do MHS.



Fonte: Apostila sobre Cames<sup>16</sup>.

### 2.1.9.3. Movimento Parabólico

O deslocamento da came segue uma ou mais parábolas. Para a construção do diagrama para o MP pode-se seguir o passo a passo<sup>17</sup>:

- Pela origem do diagrama de deslocamento, uma reta é traçada com um ângulo menor que  $90^\circ$  em relação a ordenada.

<sup>15</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

<sup>16</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

<sup>17</sup> O passo a passo está disposto de acordo com a Apostila sobre Cames disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

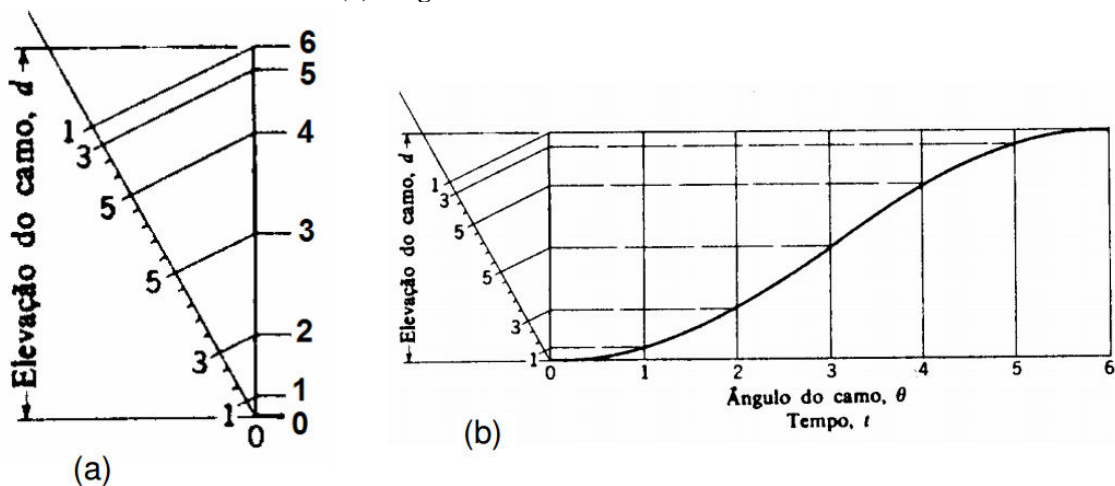
- Em função da precisão escolhida (mínimo de 6 pontos de traçado), divide-se esta reta em partes proporcionais conforme somatório dos números ímpares da tabela 1.
- Unir a última divisão da reta com a última do seguidor na ordenada (curso máximo no movimento considerado).
- Traçar retas paralelas a reta gerada no passo 3 para cada uma das divisões proporcionais, com isto obtemos os pontos de traçado da came figura 22.

Tabela 1. Divisões proporcionais e somatório.

| Divisões do deslocamento | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | $\Sigma$ = divisão da reta |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------|
| Divisões                 | 0 | 1 | 3 | 5 | 5 | 3 | 1 |   |   | 18                         |
| proporcionais            | 0 | 1 | 3 | 5 | 7 | 7 | 5 | 3 | 1 | 32                         |

Fonte: Adaptado da Apostila sobre Cames.<sup>18</sup>

Figura 22. Diagrama de deslocamento do MP. (a) Pontos de traçado sobre a linha de centro do seguidor. (b) Diagrama de deslocamento do MP.



Fonte: CLARO, 2004.

Para o equacionamento do MP, existem etapas:

1. Do equacionamento, tem-se que (expressão aplicável para  $0 \leq \theta \leq$  ponto de inflexão):

$$s = C \cdot \theta^2$$

Considerando que o ponto de inflexão é dado por  $s = h/2$ , pelo que  $\theta = \beta/2$  tem-se:

$$C = \frac{2h}{\beta^2}$$

Então para a primeira parte do movimento tem-se:

$$s = 2h \left( \frac{\theta}{\beta} \right)^2 \quad \rightarrow \quad v = \frac{4h\omega}{\beta^2} \theta \quad \rightarrow \quad a = \frac{4h\omega^2}{\beta^2}$$

<sup>18</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

2. Para a segunda parte do movimento, após o ponto de inflexão, tem-se que:

$$s = C_1 + C_2\theta + C_3\theta^2$$

Onde, para  $\theta = \beta$  e  $s = h$  tem-se:

$$h = C_1 + C_2\beta + C_3\beta^2$$

Tem-se também pontos interessantes à velocidade:

- (i)  $\theta = \beta \Rightarrow$  *velocidade nula*  
(ii)  $\theta = \frac{\beta}{2} \Rightarrow$  *velocidade máxima*

Tendo que:

$$v = \frac{ds}{dt} = C_2\omega + 2C_3\omega\theta$$

Utilizando-se do item (i) e (ii) resulta no seguinte sistema:

$$\begin{aligned} C_2\omega + 2C_3\omega\beta &= 0 \\ C_2\omega + 2C_3\omega\frac{\beta}{2} &= \frac{2h\omega}{\beta} \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema tem-se:

$$C_1 = -h \quad C_2 = 4\frac{h}{\beta} \quad C_3 = -2\frac{h}{\beta^2}$$

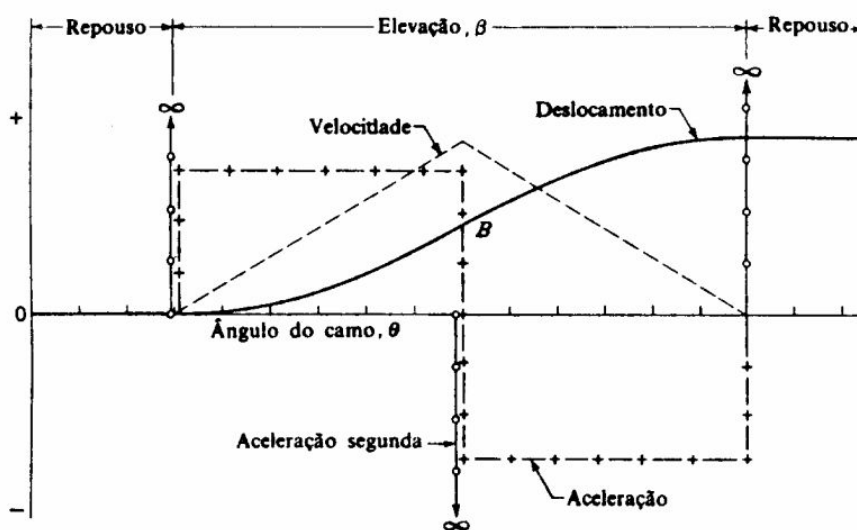
Finalmente:

$$s = h \cdot \left[ 1 - 2 \left( 1 - \frac{\theta}{\beta} \right)^2 \right] \quad v = \left( 4h \frac{\omega}{\beta} \right) \left( 1 - \frac{\theta}{\beta} \right) \quad a = -4h \frac{\omega^2}{\beta^2}$$

Cujos resultados podem ser visualizados na figura 24, em que (B) designa o ponto de inflexão da curva de deslocamentos, à esquerda e à direita do qual são aplicáveis um ou outro dos grupos de equações deduzidos acima.

Adicionalmente, a figura 23 inclui a curva correspondente à terceira deriva do deslocamento (pulso, impulso ou choque) que, correspondendo à variação da aceleração, fornece uma indicação adicional da qualidade do acionamento conseguido (CLARO, 2004).

Figura 23. Deslocamento, velocidade, aceleração e choque do MP.



Fonte: NEIS, 2012.

No caso do movimento parabólico, apesar de a aceleração ser constante, existem situações de impulso 'infinito' no princípio e no fim do movimento, bem como no ponto de inflexão, sendo assim, são esperados alguns problemas de funcionamento nestes pontos. Por esta razão, sistemas empregando este tipo de movimento estão sujeitos a consideráveis restrições de velocidade de rotação (CLARO, 2004).

#### 2.1.9.4. Funções Polinomiais

É uma família de funções do tipo mais diversificado que podem ser utilizadas para projetos de cames. Não são limitadas quanto a tempos de esperas únicos ou duplos e são adaptáveis a muitas diversificações de projeto (NORTON, 2010). Portanto a função de deslocamento é dada por:

$$s = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 + \dots + C_nx^n$$

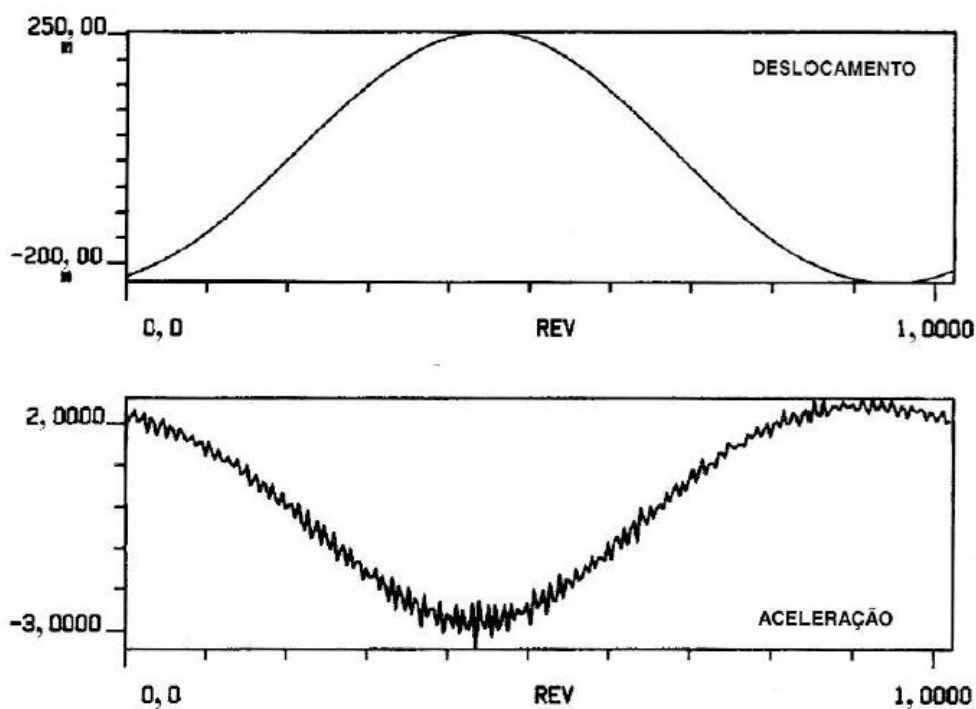
Onde  $x = \theta/\beta$  e as constantes ( $C_n$ ) são determinadas de acordo com as especificações de projeto.

#### 2.1.9.5. Movimento Cicloidal

As funções de espera, que unem a subida em cada lado, têm aceleração nula no caso do MHS, desse modo, existem descontinuidades na aceleração em cada extremo do intervalo (figura 24). Assim existirá infinitos picos de pulsos no extremo de cada intervalo de descida, dessa forma o projeto de came se tornaria inaceitável. As descontinuidades do deslocamento

geram uma inclinação infinita e zero de duração numa parte da curva da velocidade o que resulta nos infinitos picos de aceleração. Aceleração infinita requer força infinita, ou seja, as forças dinâmicas serão muito grandes nesses contornos criando altas tensões e rápido desgaste. Resumindo será um projeto inaceitável

Figura 24. Infinitos picos de pulsos na aceleração de MHS com esperas.



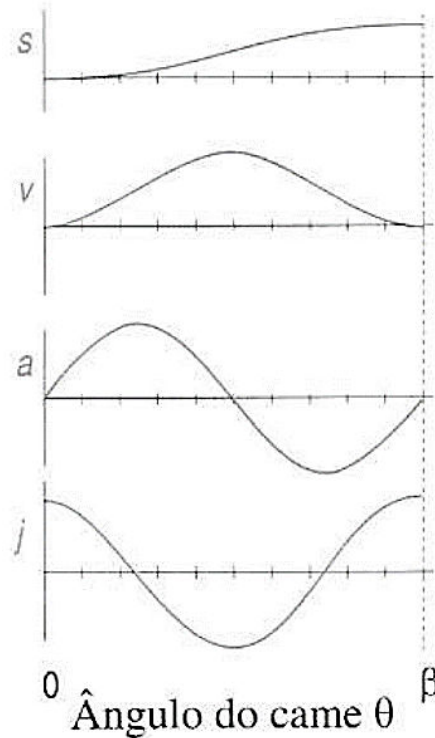
Fonte: NORTON, 2010.

Com isso em mente, o estudo do MC ao invés de se iniciar do deslocamento, inicia-se pela função de aceleração, entretanto alguns dos conceitos da família de funções harmônicas serão utilizadas. Uma aceleração senoidal gera um deslocamento cicloidal, como se observa na figura 25.

A figura 26 mostra o tempo completo de uma função senoidal de tempo total, aplicada como função da aceleração, isso leva à restrição de magnitude nula em cada extremo para concordar com os segmentos de espera conectados. Segundo NORTON, 2010, a equação da curva senoidal (que vai ser utilizada para a aceleração) é:

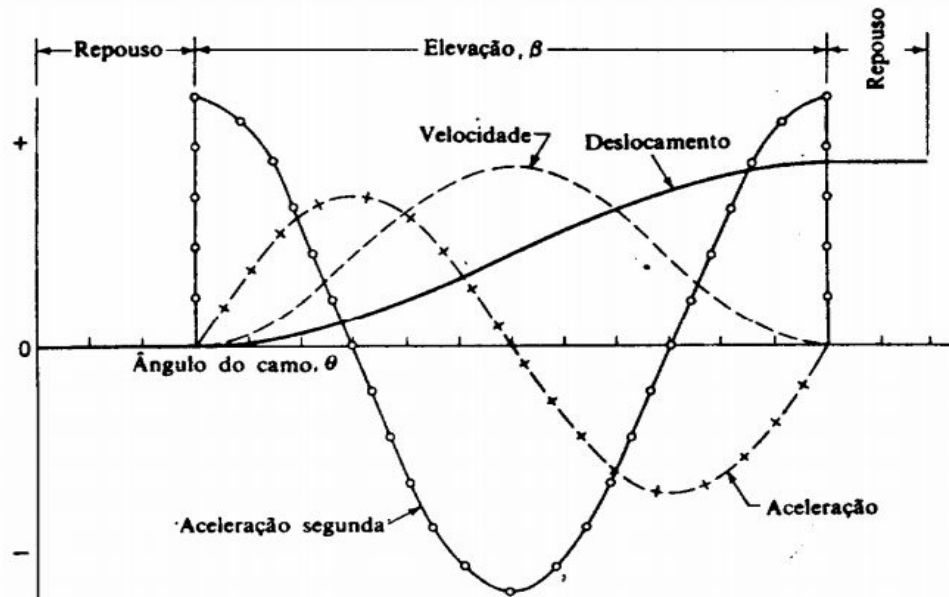
$$a = C \cdot \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)$$

Figura 25. Aceleração senoidal fornece um deslocamento cicloidal.



Fonte: NORTON, 2010.

Figura 26. Deslocamento, velocidade, aceleração e pulso do MC.



Fonte: NEIS, 2012.

A variável independente  $\theta$  é normalizada sendo dividida pelo tempo do segmento  $\beta$ , com ambos também em radianos. Como no MHS, o valor  $\theta/\beta$  variando de 0 a 1 em qualquer segmento e é uma razão adimensional. Se é desejado um ciclo completo da curva senoidal, deve-se multiplicar o argumento por  $2\pi$ . O argumento da função seno irá então variar de 0 a

$2\pi$ , independente do valor de  $\beta$ . E a constante  $C$  define a amplitude da curva do seno (NORTON, 2010).

Integrando-se para obter a velocidade, tem-se:

$$a = \frac{dv}{d\theta} \Rightarrow v = \int dv = \int a \cdot d\theta = \int C \cdot \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) d\theta \Rightarrow$$

$$v = -C \frac{\beta}{2\pi} \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) + k_1$$

Para encontrar a constante de integração ( $k_1$ ) utiliza-se a condição de contorno no outro extremo do intervalo ( $v = 0, \theta = \beta$ ), chega-se que:

$$k_1 = -C \frac{\beta}{2\pi} \Rightarrow v = C \frac{\beta}{2\pi} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)\right]$$

Para encontrar o deslocamento integra-se a velocidade:

$$v = \frac{ds}{d\theta} \Rightarrow s = \int ds = \int v \cdot d\theta$$

$$s = C \frac{\beta}{2\pi} \theta - C \frac{\beta^2}{4\pi^2} \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) + k_2$$

Para encontrar a segunda constante de integração ( $k_2$ ) utiliza-se da condição de contorno  $s = 0$  em  $\theta = 0$ , desde que seja obrigatoriamente neste ponto o deslocamento nulo do tempo de espera naquele ponto.

Para a amplitude ( $C$ ), utiliza-se a condição de contorno  $s = h$  em  $\theta = \beta$ , em que  $h$  é o valor máximo na subida (ou elevação) do seguidor requerido no intervalo e é uma constante para qualquer especificação de came.

Portanto:

$$k_2 = 0 \qquad C = 2\pi \frac{h}{\beta^2}$$

Assim:

$$s = h \left[ \frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \right]$$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[ 1 - \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \right]$$

$$a = 2\pi \frac{h}{\beta^2} \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)$$

$$j = 4\pi^2 \frac{h}{\beta^3} \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)$$

Conclusões:

- Velocidade é a soma do termo cosseno negativo e do termo constante;
- Curva de velocidade iniciando e terminando no zero;
- Velocidade alcançando módulo máximo em  $\beta/2$ ;
- Deslocamento é a soma de uma linha reta de inclinação  $h$  e uma senoidal negativa, ou seja, uma função cicloidal.

Para deixar a função em função do tempo, multiplica-se a velocidade ( $v$ ) pela velocidade angular do eixo da came ( $\omega$  em  $rad/s$ ), multiplica-se a aceleração ( $a$ ) por  $\omega^2$  e o pulso por  $\omega^3$ .

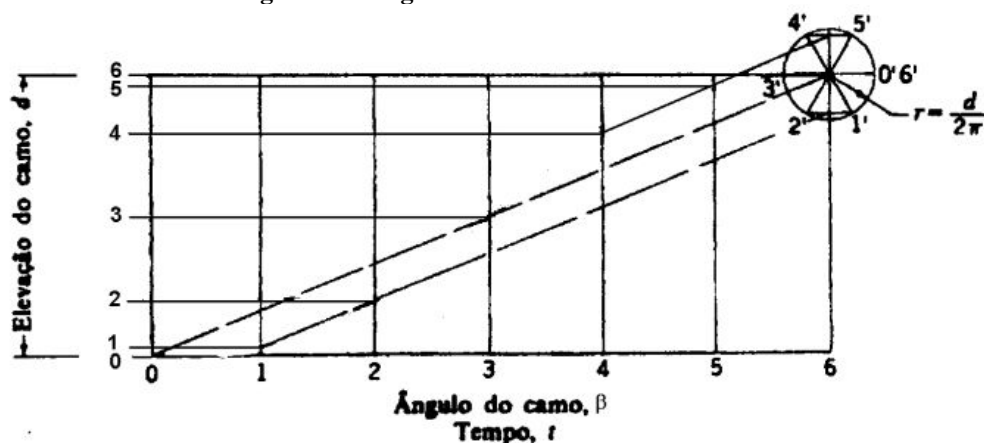
Uma outra maneira de construir o diagrama do MC segue, segundo a apostila<sup>19</sup>, o passo a passo a seguir:

- ✚ Montar a estrutura do diagrama, com a elevação do seguidor e o correspondente deslocamento angular do came no movimento considerado (mínimo de 6 pontos de traçado);
- ✚ Desenhar no canto superior direito um círculo com raio igual a “ $h$ ” dividido por  $2\pi$  ( $r = h / 2\pi$ );
- ✚ Dividir o círculo do segundo passo em número igual aos deslocamentos angulares adotados para o came (pontos de traçado) no movimento considerado onde  $0 = 3h$  e sentido horário para 1-2-3-4-5-6...
- ✚ Projetar as divisões do círculo ortogonalmente no diâmetro vertical do círculo;
- ✚ Traçar uma diagonal entre o canto inferior esquerdo e o canto superior direito do diagrama. Para 6 pontos de traçado esta diagonal define os pontos 0, 3 e 6 do deslocamento do seguidor;
- ✚ Projetar os outros pontos obtidos no diâmetro vertical com retas paralelas a diagonal do passo 5. Com isto são obtidos os pontos de traçado 1 e 2 para a paralela inferior e os pontos 4 e 5 para a paralela superior.

---

<sup>19</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

Figura 27. Diagrama de deslocamento do MC.



Fonte: Apostila sobre Cames<sup>20</sup>.

### 2.1.10. Desenho do Perfil de um Came De Disco com Seguidor de Translação

Com o diagrama de deslocamento em mãos, obtém-se o perfil da came necessário ao movimento desejado do seguidor, ou seja, o diagrama de deslocamento é o ponto inicial para a síntese da came.

Partindo de um diagrama de deslocamentos, o valor da ordenada de cada ponto deve ser transferido para o correspondente raio do setor angular, no desenho da came adicionando-o à circunferência principal.

Alguns exemplos são mostrados nas figuras abaixo, lembrando que o diagrama de deslocamento de uma came pode conter vários movimentos, ou seja, combinar os movimentos já estudados.

A execução do desenho do perfil do came de disco com seguidor de translação (haste guiada) pode seguir o seguinte passo a passo segundo Apostila sobre Cames<sup>21</sup>:

- Dividir a circunferência base (principal):
  - Em  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 \dots \beta_n$  conforme número de movimentos considerados;
  - Dividir cada  $\beta$  em seis pontos de traçado no mínimo.
- Considerar o came como fixo e girar o seguidor no sentido contrário ao giro real do came.
- Compasso com ponta seca no centro da circunferência base, combina-se os pontos de traçado em “d” (h) com as divisões angulares do segundo item observando a lógica do

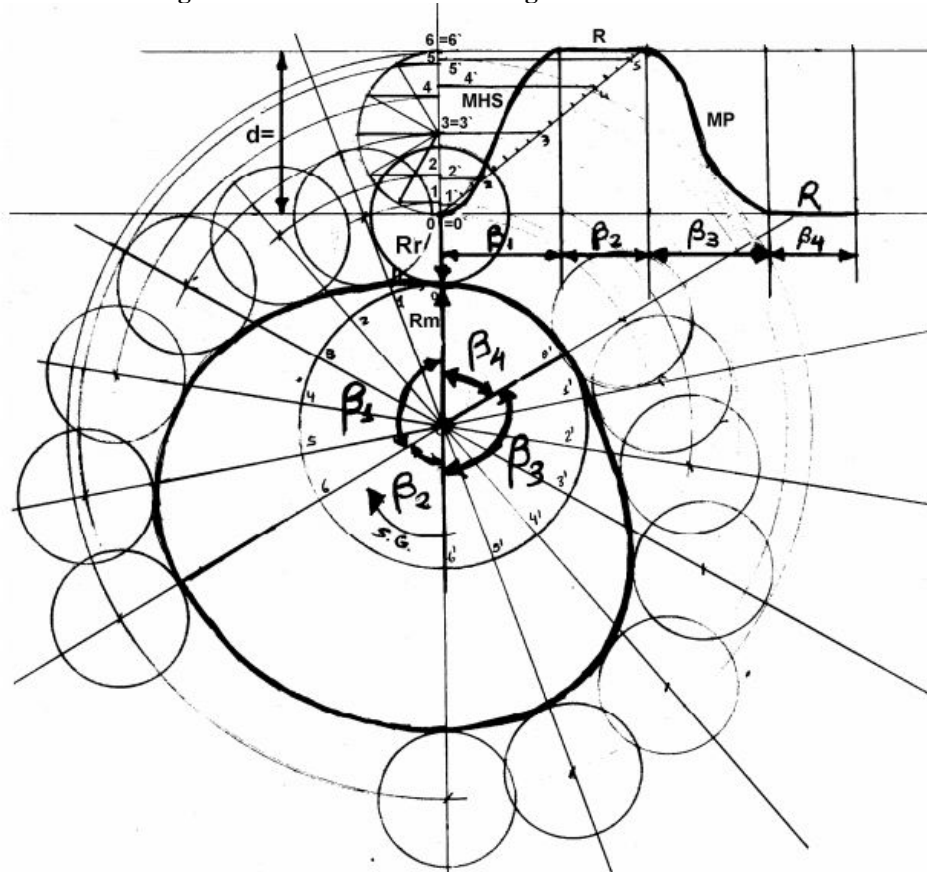
<sup>20</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

<sup>21</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

diagrama de deslocamento. Com isto encontram-se os pontos de traçado do perfil do came.

- No caso de seguidor de rolete (figura 28), encontram-se os centros onde deve-se desenhar os roletes, para traçar o perfil do came tangente a estes roletes.
- No caso de seguidor de ponta (figura 29), encontra-se o próprio perfil do came.
- No caso de seguidor de face plana (figura 30), encontram-se os pontos onde deve-se traçar retas perpendiculares as retas do item do primeiro item segundo subitem, o perfil do came deve ser tangente ao polígono formado por estas perpendiculares.

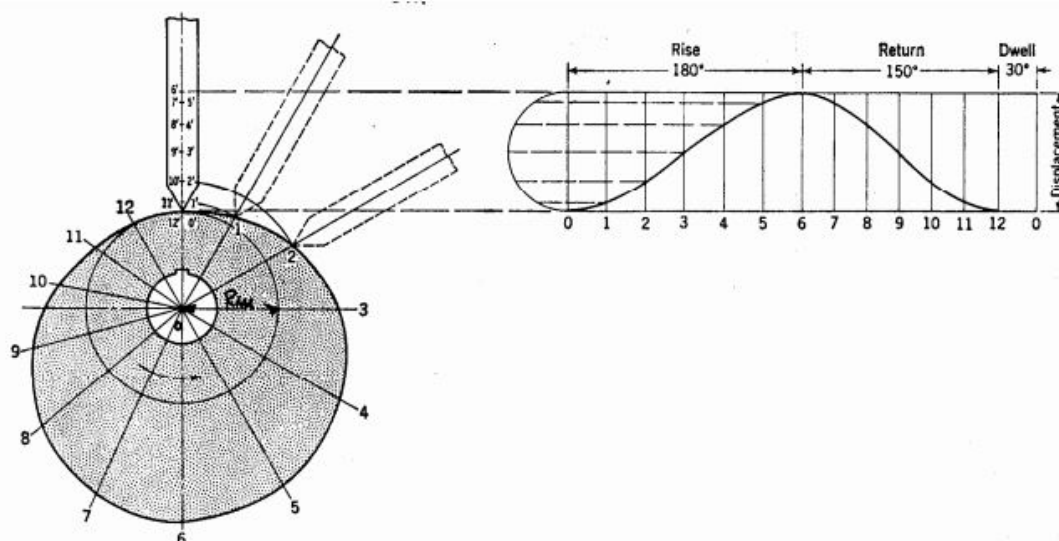
**Figura 28. Came de disco com seguidor radial de rolete.**



Fonte: Apostila sobre Cames<sup>22</sup>.

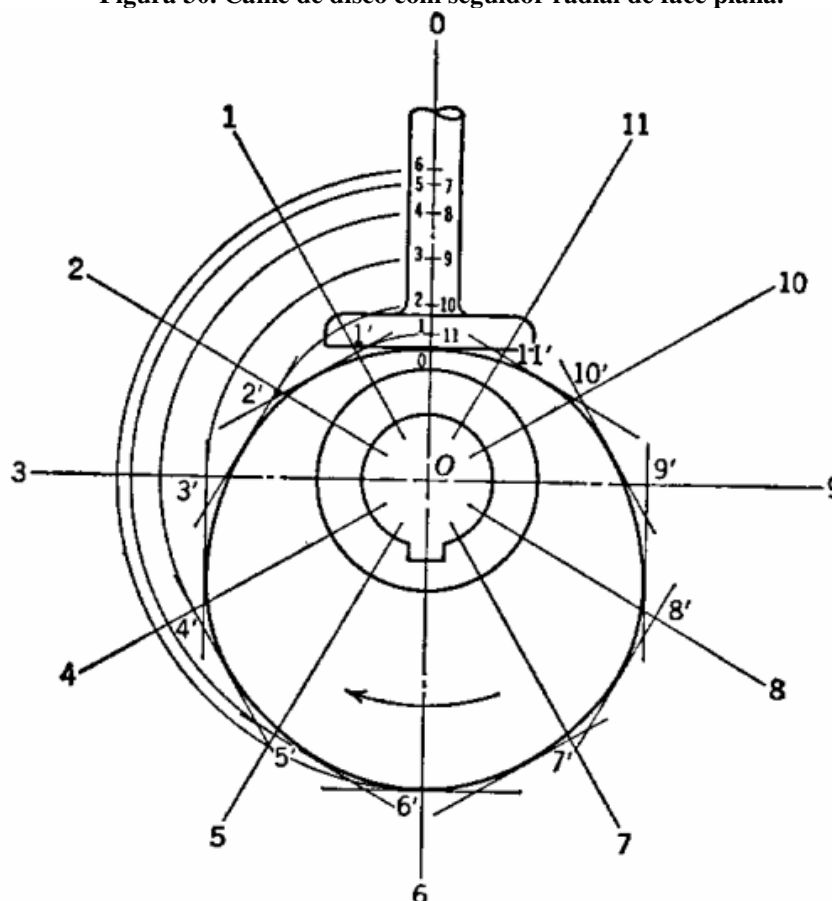
<sup>22</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

Figura 29. Came de disco com seguidor radial de ponta.



Fonte: Apostila sobre Cames<sup>23</sup>.

Figura 30. Came de disco com seguidor radial de face plana.



Fonte: Apostila sobre Cames<sup>24</sup>.

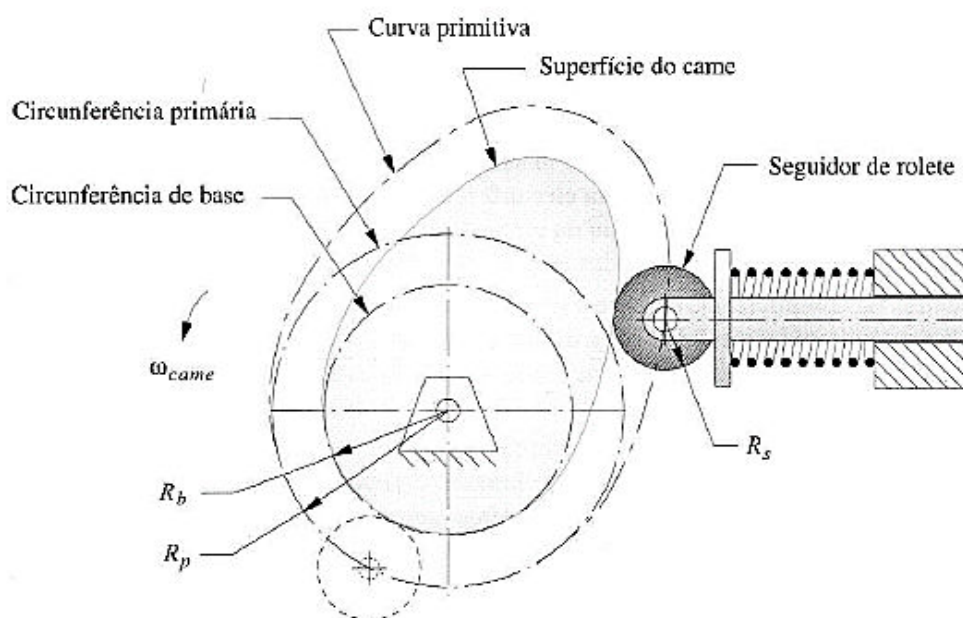
<sup>23</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

<sup>24</sup> Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

### 2.1.11. Ângulo de Pressão e Raio de Curvatura

Uma vez que as funções forem definidas, o próximo passo é dimensionar a came, mas para isso há dois fatores principais que afetam o tamanho do came: o ângulo de pressão e o raio de curvatura. Ambos envolvem o raio de circunferência de base no came ( $R_b$ ) para seguidores de face plana, ou o raio da circunferência primária ou principal no came ( $R_p$ ) quando utilizados seguidores de rolete ou curvados, estes raios estão apresentados na figura 31.

**Figura 31. A circunferência de base ou principal ( $R_b$ ), a circunferência primária ( $R_p$ ) e a curva primitiva de um came radial com seguidor de rolete.**



Fonte: NORTON, 2010.

O processo de criação da came permite escolha livre do eixo, lembrando que a altura da curva de deslocamento já fixada pela função de deslocamento. Escolhe-se a base ou o raio da circunferência primitiva como parâmetro de projeto e alonga-se o comprimento dos eixos do diagrama para se adequarem à circunferência do círculo escolhido.

Serão apresentados ângulos de pressão e raios de curvatura para os comes radiais com seguidores de translação.

#### 2.1.11.1. Ângulo De Pressão

O ângulo de pressão ( $\phi$ ) é definido pela normal à superfície da came, no ponto de contato, com a direção segundo a qual o seguidor se desloca. Este ângulo define a decomposição da força exercida pela came, nos sentidos radial e tangencial, e, portanto, a proporção dessa força que é, efetivamente, empregue no deslocamento (radial) do seguidor (CLARO, 2004).

Somente ao longo eixo de transmissão, que é perpendicular ao eixo de deslizamento ou à tangente comum, a força pode ser transmitida do came para o seguidor e vice-versa (NORTON, 2010).

A componente tangencial, uma vez transmitida ao seguidor, é descarregada nos seus apoios/guia em pura perda. Adicionalmente, elevados ângulos de pressão em conjunção com a (imprescindível) folga funcional da guia e condições de lubrificação deficiente, desgaste dos componentes, etc., podem levar ao encravamento e mesmo à ruína do sistema (CLARO, 2004).

Tendo em consideração que, em termos práticos, o tamanho da came depende do diâmetro do seu próprio veio, da curvatura do seu perfil e do ângulo de pressão resultante, este último pode ser reduzido aumentando o tamanho da came. A contrapartida é a de maiores massas rotativas desbalanceadas, maior atravancamento e, de uma forma geral, maiores dimensões dos restantes órgãos mecânicos (CLARO, 2004).

Assim, o problema põe-se em termos de conseguir o projeto de uma came de dimensões razoáveis que, simultaneamente, apresente um ângulo de pressão suficientemente baixo.

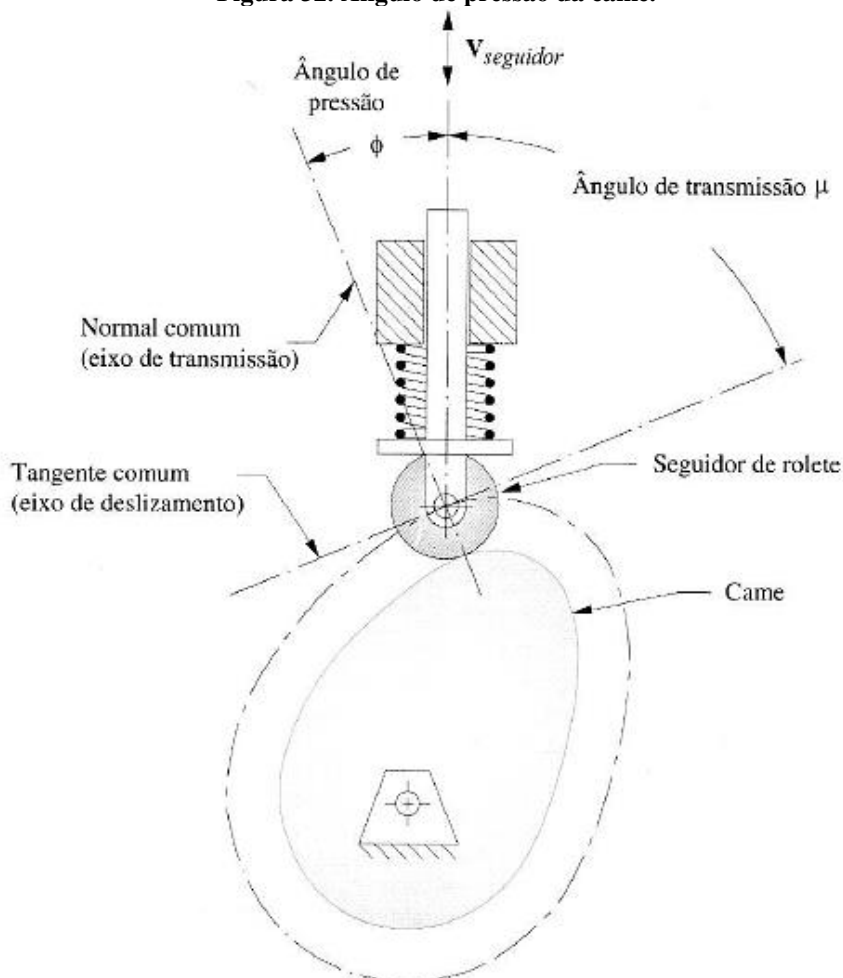
O ângulo de pressão pode ser expresso em termos matemáticos. No entanto, dependendo do tipo de movimento (perfil da came), a respectiva equação pode ser impossível de resolver exceto por meios gráficos ou métodos analíticos aproximados (CLARO, 2004).

Em outros termos, o ângulo de pressão (figura 32) é o ângulo entre a direção de movimento (velocidade) do seguidor e a direção do eixo de transmissão, é o ângulo complemento do ângulo de transmissão definido para o mecanismo de 4 barras (NORTON, 2010). Assim sendo, segundo NORTON, 2010:

- $\phi = 0$ : toda a força transmitida vai em direção ao movimento do seguidor e nenhuma na velocidade de deslizamento;
- $\phi = 90^\circ$ : não existirá movimento no seguidor;
- É de desejo satisfatório que o ângulo de pressão esteja entre  $0$  e  $30^\circ$  para seguidores de translação, para evitar carregamento lateral excessivo no seguidor deslizante;
- Se o seguidor estiver oscilando em um braço pivotado, um ângulo de pressão até mais ou mesmo  $35^\circ$  é aceitável;

- Valores maiores para o ângulo de pressão aumentam o atrito no seguidor deslizando à níveis indesejáveis e podem até esmagar um seguidor de translação em suas guias.

**Figura 32. Ângulo de pressão da came.**



**Fonte: NORTON, 2010.**

Um caso geral em que o eixo de movimentação do seguidor não intercepta o centro da came, é tido como um came – seguidor excêntrico (figura 34), ou seja, há uma excentricidade ( $\epsilon$ ) definida como a distância perpendicular entre o eixo de movimentação do seguidor e o centro da came, é o chamado came com *offset*. Raramente o seguidor será alinhado (NORTON, 2010).

Do processo, segundo NOROTN, 2010, para encontrar uma função para o ângulo da pressão considera-se a figura 33, onde:

- O ponto  $B$  é o centro instantâneo  $I_{2,4}$ , ou seja, possui mesma velocidade que o elo 2 (came) e o elo 4 (seguidor).



Na figura 33, o arco do raio  $R_p$  é balançado até ele interceptar o eixo de movimentação do seguidor no ponto  $D$ , definindo-se o comprimento da linha  $d$ , que é constante para qualquer  $R_p$  escolhido.

Utilizando o triângulo retângulo  $ACI_{2,4}$  que contém o ângulo de pressão e cuja medida vertical é  $(e + d)$  onde “ $s = e$ ” é a movimentação instantânea do seguidor, tem-se:

$$c = b - \varepsilon = (e + d) \tan \phi$$

$$b = (e + d) \tan \phi + \varepsilon$$

Portanto como já visto que  $b = v$ :

$$v = (e + d) \tan \phi \quad (i)$$

Do triângulo  $CDO_2$  tem-se:

$$d = \sqrt{R_p^2 - \varepsilon^2} \quad (ii)$$

Utilizando a (i) e (ii) tem-se que o ângulo de pressão é dado por:

$$\phi = \arctan \frac{v - \varepsilon}{s + \sqrt{R_p^2 - \varepsilon^2}}$$

Se um came adequadamente pequeno não pode ser obtido com um ângulo de pressão aceitável, a excentricidade pode ser introduzida para modificar o ângulo de pressão. Para um  $\omega$  positivo, um valor positivo de excentricidade irá diminuir o ângulo de pressão na subida, porém irá aumentá-lo na descida (excentricidade negativa produz o inverso).

#### 2.1.11.2. Fator de Came

Existe uma forma empírica de projeto de cames com seguidor de translação com rolete, baseada no chamado fator de came que segundo CLARO, 2004, é:

$$f = l / y$$

Em que:

$l$  : comprimento de arco de circunferência primitiva (em mm)

$s = y$  : deslocamento do seguidor (em mm) conseguida no decurso desse arco

Valores usuais de  $(f)$  para diferentes ângulos de pressão e movimentos básicos do seguidor, são listados na tabela 2.

Adicionalmente, e como o comprimento do arco da circunferência primitiva ( $l$ ) e o respectivo raio ( $R_p$ ) são relacionados por

$$l = R_p \cdot \beta$$

$$\Rightarrow R_p = l / \beta \Rightarrow R_p = f \frac{y}{\beta}$$

O que permite definir, à partida, o raio primitivo da came para se obter determinado ângulo de pressão, conhecidos que sejam o deslocamento pretendido, o ângulo de rotação da came em que se processa e retirado o fator de came da tabela 2 (CLARO, 2004).

**Tabela 2. Fatores de Came para movimentos básicos.**

| <b>Ângulo de Pressão</b> | <b>Tipo de Movimento</b> |                            |                  |                               |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|-------------------------------|
|                          | <b>Uniforme</b>          | <b>Uniforme modificado</b> | <b>Harmónico</b> | <b>Parabólico e Cicloidal</b> |
| <b>10</b>                | 5.67                     | 5.84                       | 8.91             | 11.34                         |
| <b>15</b>                | 3.73                     | 3.99                       | 5.85             | 7.46                          |
| <b>20</b>                | 2.75                     | 3.10                       | 4.32             | 5.50                          |
| <b>25</b>                | 2.14                     | 2.58                       | 3.36             | 4.28                          |
| <b>30</b>                | 1.73                     | 2.27                       | 2.72             | 3.46                          |
| <b>35</b>                | 1.43                     | 2.06                       | 2.24             | 2.86                          |
| <b>40</b>                | 1.19                     | 1.92                       | 1.87             | 2.38                          |
| <b>45</b>                | 1.00                     | 1.83                       | 1.57             | 2.00                          |

**Fonte: CLARO, 2004.**

#### 2.1.11.3. Raio de Curvatura para o Seguidor de Rolete de Translação

O raio de curvatura é uma propriedade matemática de uma função: o raio de curvatura de uma reta é infinito em qualquer ponto; no círculo o raio de curvatura é constante; na parábola, muda constantemente e tende ao infinito; uma curva cúbica terá o raio de curvatura as vezes positivo, as vezes negativo. Em geral, quanto maior o grau da função, maior a variação de potencial em seus raios de curvatura (NORTON, 2010).

O raio de curvatura é relevante independentemente do seguidor, mas as questões associadas ao mesmo variam para cada seguidor (NORTON, 2010).

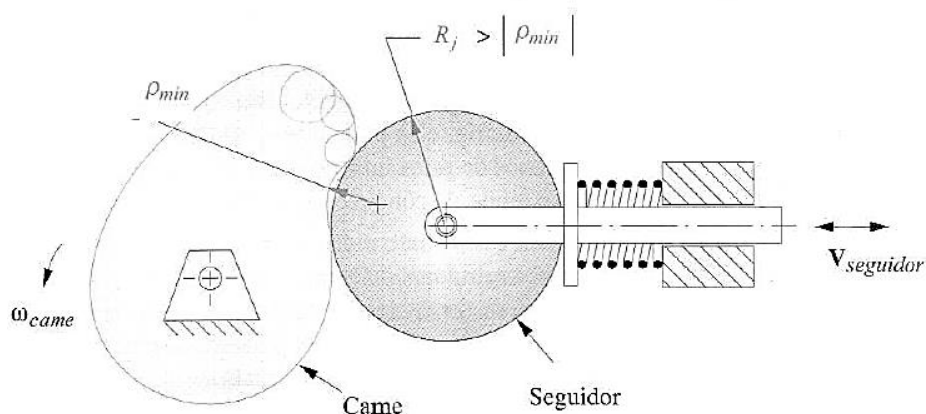
Considerações anteriores:

- Raio do seguidor de rolete:  $R_s$
- Raio de curvatura mínimo da came:  $+\rho$  (se convexo)

As questões e/ou problemas associados ao raio de curvatura, segundo NORTON, 2010, são:

- Quando  $R_s \gg \rho$  ao ponto de o rolete não conseguir seguir a came por completo: o rolete não consegue seguir um trecho de raio côncavo pequeno ( $-\rho$ ) localizado na came projetada, como se observa na figura 34.

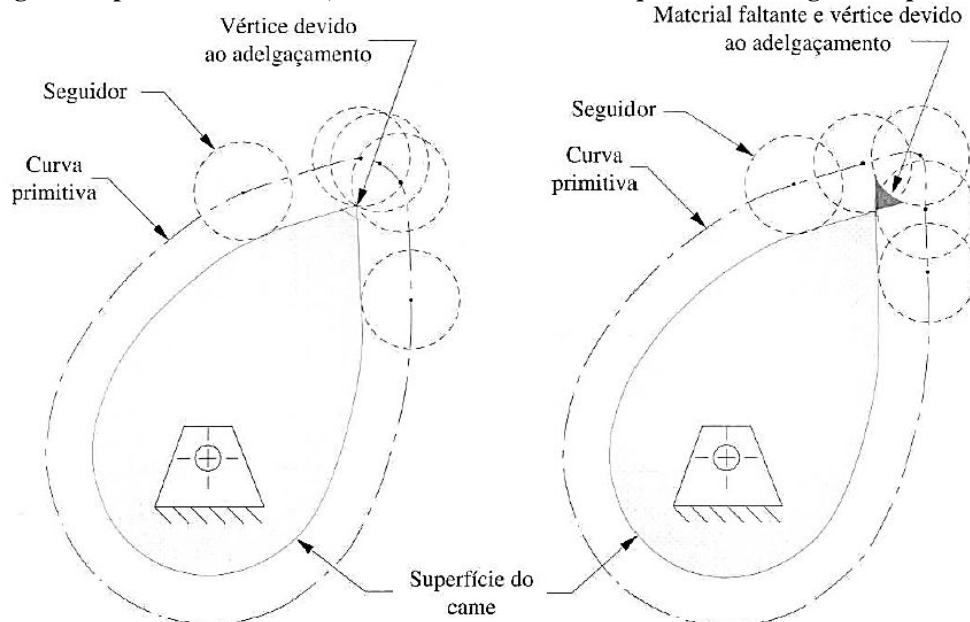
**Figura 34. Raio do rolete é muito maior que o raio de curvatura mínimo.**



**Fonte: NORTON, 2010.**

- Quando  $R_s >$  menor raio local convexo ( $+\rho$ ) na cames: esse problema é chamado de adelgaçamento e pode ser observado na figura 35. Para o rolete maior, há uma área da cames materialmente impossível que, uma vez maquinada, origina uma zona de transição pontiaguda. O resultado final é um rolete que segue uma trajetória rebaixada, longe da pretendida.

**Figura 35. Raio de curvatura pequeno causando adelgaçamento. À esquerda, raio de curvatura igual à do seguidor tipo rolete. À direita, raio da curvatura menor que o raio do seguidor tipo rolete.**



**Fonte: NORTON, 2010.**

Na superfície da cames à esquerda na figura 35, tem-se a formação do agudo perfeito, ou cúspide. Essa cames não terá um bom desempenho a altas velocidades. Na cames à direita na

figura 35, há remoção de material necessário ao contorno do came e também cria um ponto agudo. Essa came não terá mais a mesma função para a qual foi projetado (NORTON, 2010).

A ideia geral é preferencialmente manter o valor absoluto do raio de curvatura mínimo ( $\rho_{min}$ ) da curva primitiva da came, no mínimo de duas a três vezes o tamanho do raio do seguidor de rolete ( $R_s$ ):

$$|\rho_{min}| \gg R_s$$

Tem-se, segundo NORTON, 2010, que a equação do raio de curvatura mínimo para o seguidor de rolete de translação é dada por:

$$\rho_{primitivo} = \frac{\left[ (R_p + s)^2 + v^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{(R_p + s)^2 + 2v^2 - a(R_p + s)}$$

Em que  $s$ ,  $v$  e  $a$  são deslocamento, velocidade e aceleração do seguidor, cujas unidades são comprimento, comprimento por radiano e comprimento por radiano ao quadrado respectivamente. Lembrando que o raio da circunferência primitiva ( $R_p$ ) é um valor constante que se escolhe como parâmetro de projeto, enquanto que  $\rho_{primitivo}$  é o raio de curvatura que muda constantemente, resultante das escolhas de projeto (NORTON, 2010).

A escolha do  $R_s$  é complicada, porque depende das forças dinâmicas do came.

Se um  $R_s$  satisfatório não for aceitável nas equações acima ( $\rho_{min}$ ) para valores mínimos de  $\rho_{primitivo}$ , então novas tentativas serão necessárias, incluindo a redefinição das especificações do came.

Se o raio da circunferência primitiva for aceitável e o raio do seguidor de rolete for determinado, baseado no ângulo de pressão e no raio de curvatura, o came pode ser desenhado em sua forma final e fabricado.

### 2.1.12. Comparativo entre os Movimentos

Percebe-se que o MU leva à inermes características a qualquer velocidade, devido ao choque que se verifica no início e no fim do levantamento. O MU modificado é melhor que MU, mas só pode ser aplicado para velocidades muito pequenas.

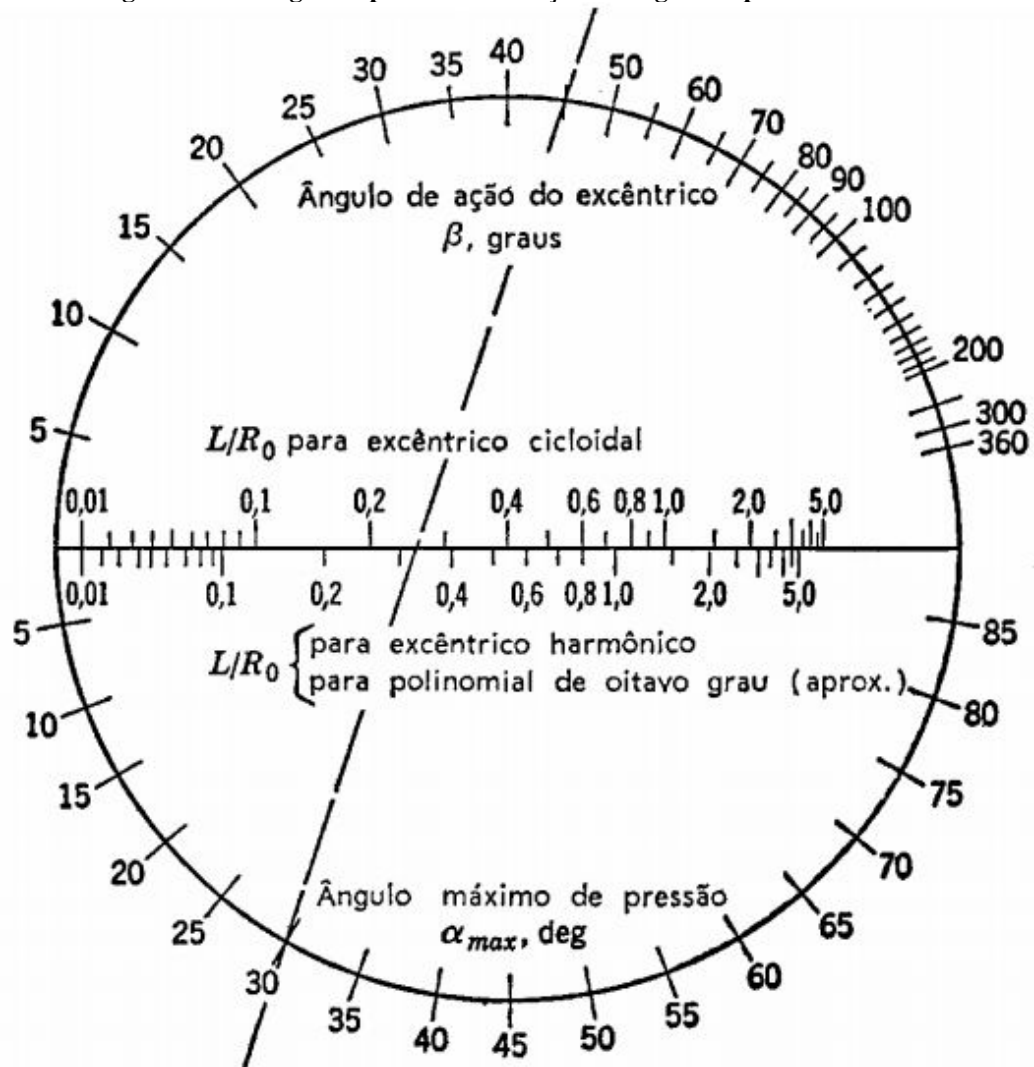
O MHS possui os cálculos um pouco mais complicados, entretanto sua construção é simples e apresenta um comportamento razoável a velocidades elevadas. O caso de uma harmónica dupla possui a vantagem de uma maior suavidade no início do levantamento. O MP é inferior ao MC, e é utilizada para altas velocidades.

Conclui-se que dentre os deslocamentos estudados, o MC é a melhor das curvas básicas, permitindo altas velocidades de funcionamento e menos picos de pulso na aceleração, eliminando descontinuidades.

### 2.1.13. Ferramentas de Auxílio para Dimensionar Cames

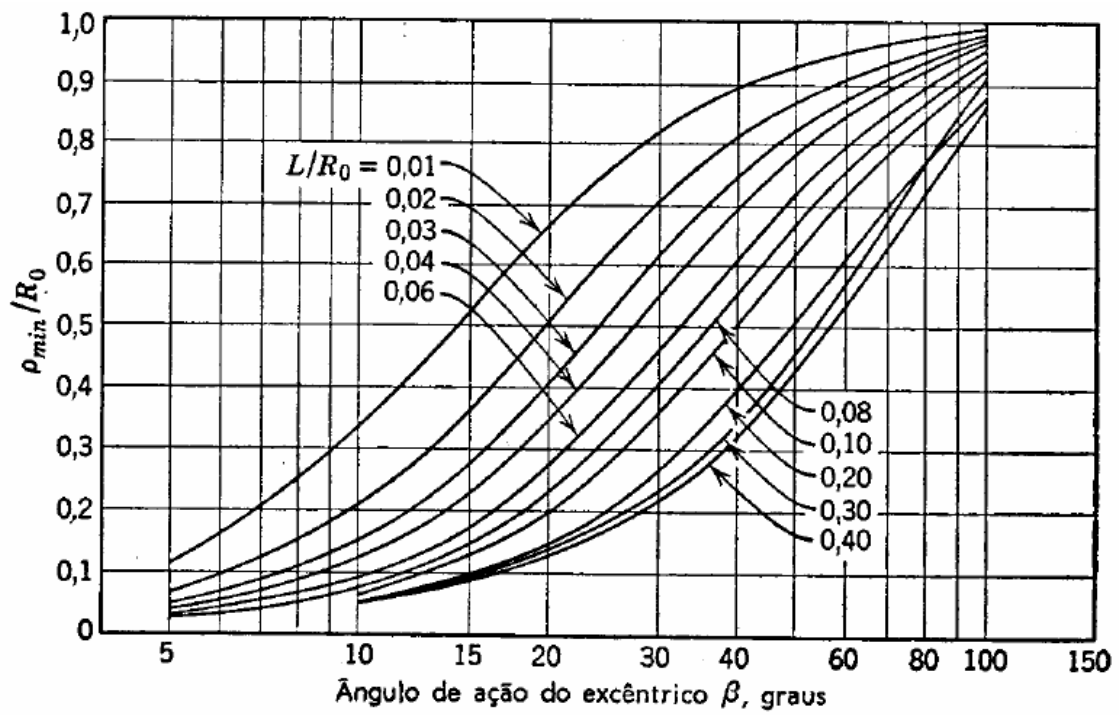
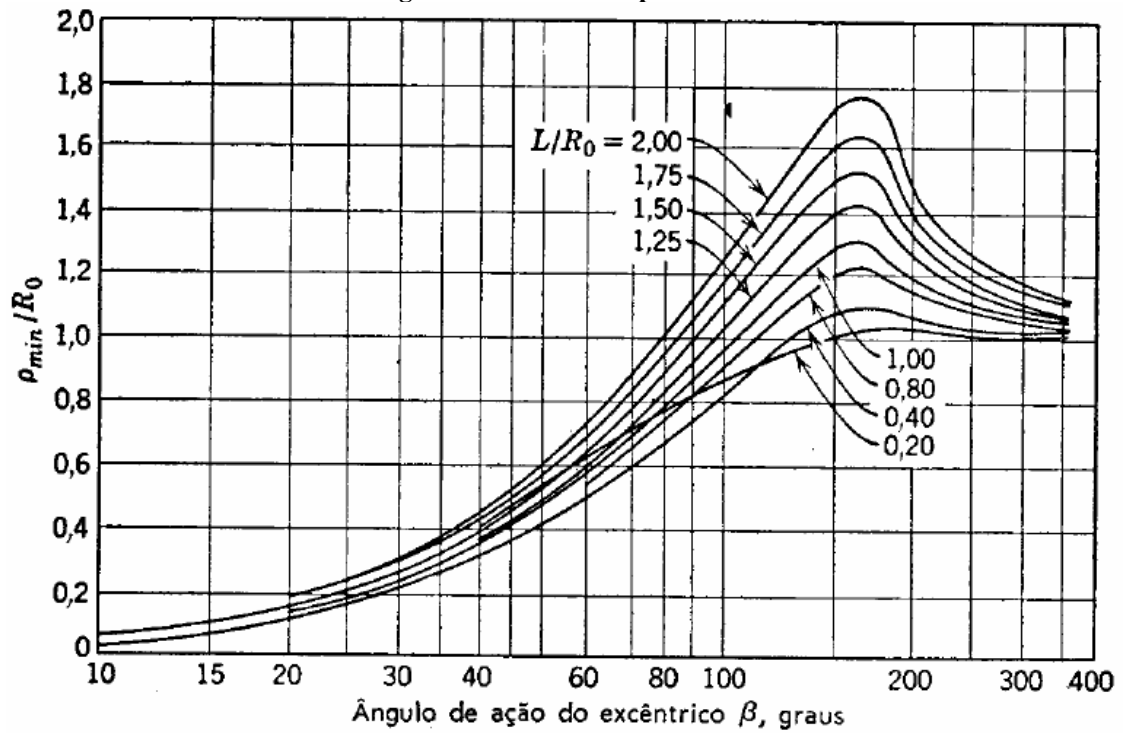
Para a realização dos cálculos vindouros com relação ao came tem-se alguns gráficos aqui disponíveis.

Figura 36. Monograma para determinação do ângulo de pressão máximo.



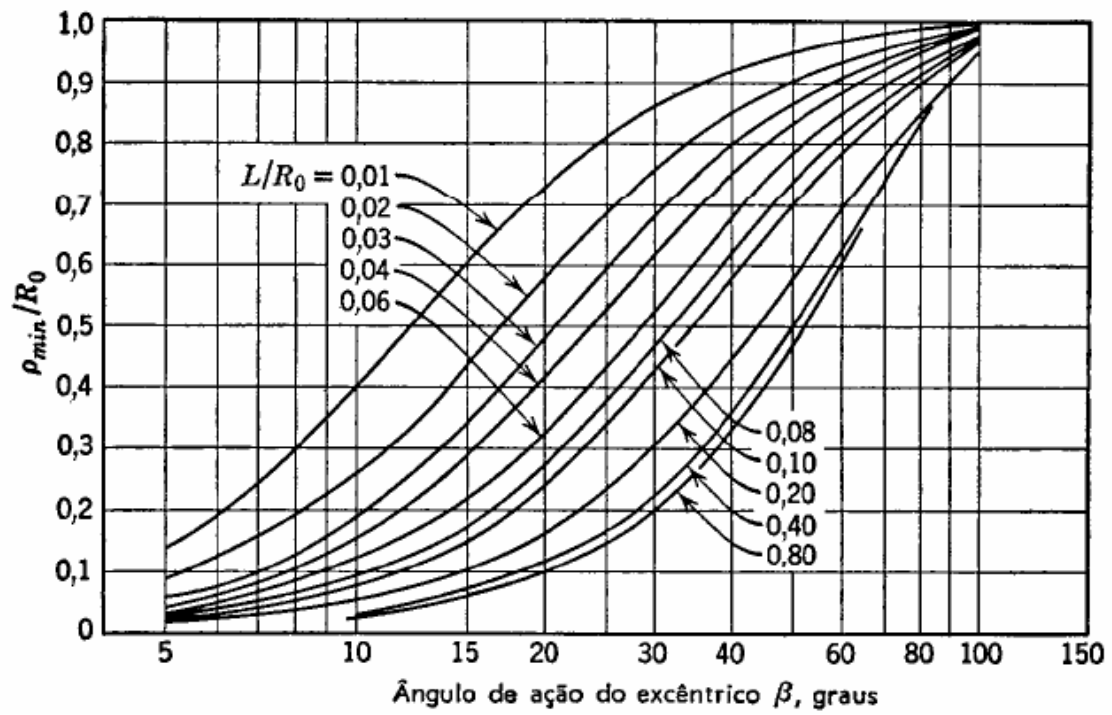
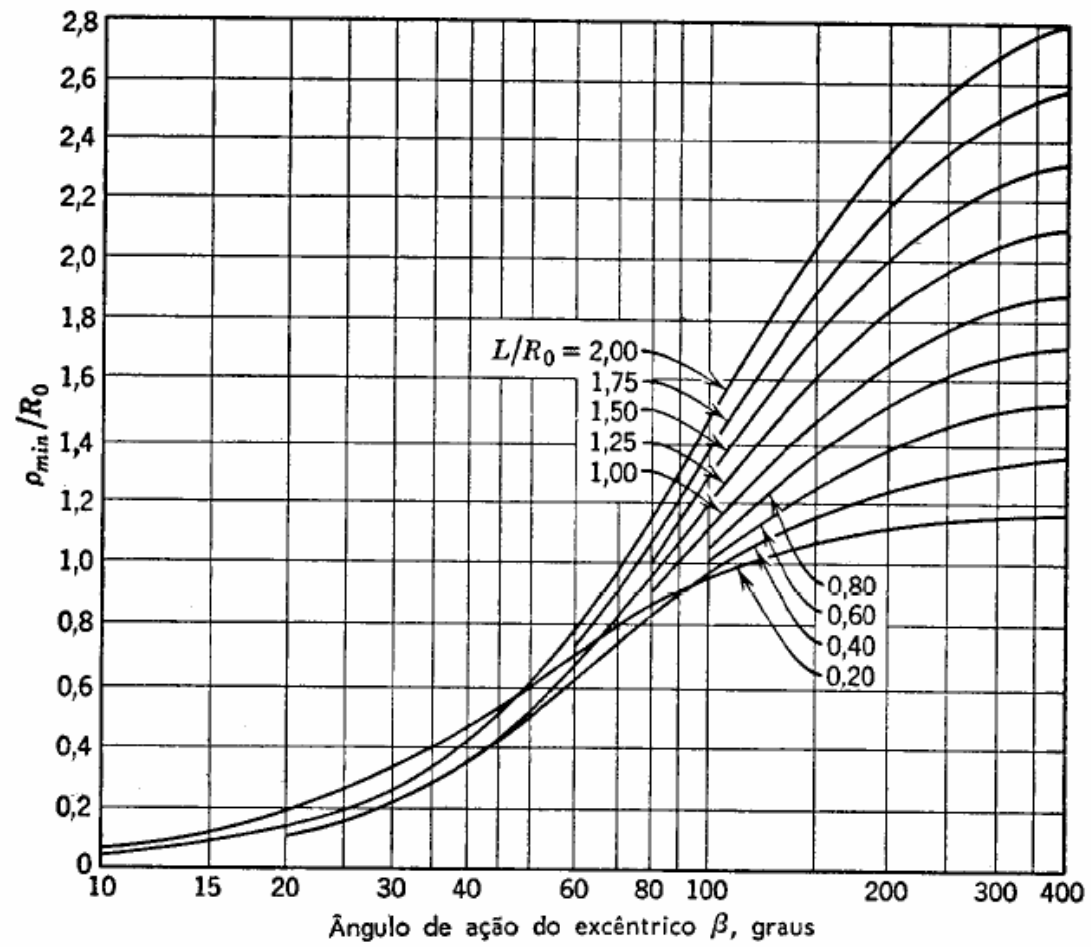
Fonte: ZAIONS, 2008.

Figura 37. Parâmetros para o MC.



Fonte: Fonte: ZAIONS, 2008.

Figura 38. Parâmetros para o MHS.



Fonte: Fonte: ZAIONS, 2008.

## 2.2. PROJETO DE ENGENHARIA

Projetar é formular um plano para atender a uma necessidade específica ou resolver um problema. Se o plano gerar algo concreto, então o produto deverá apresentar funcionalidade, segurança, confiabilidade, competitividade e possível de ser fabricado, usado e comercializado (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

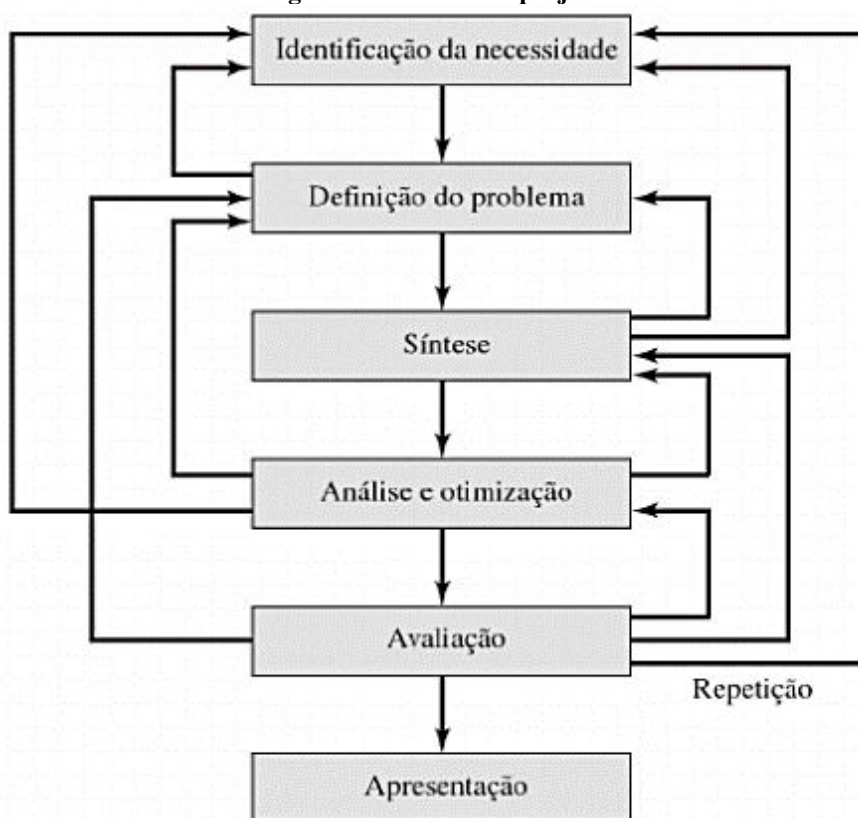
Para o engenheiro de projeto, o desafio é estruturar problemas desestruturados (NORTON, 2010). O processo de um projeto completo requer adotar uma metodologia adequada que possibilite a compreensão, a avaliação e o desenvolvimento de todos os pontos e as etapas do projeto.

Pode-se dizer que um projeto de engenharia segue as etapas apresentadas na figura 39, que se inicia em identificar a necessidade e a decisão de se fazer algo a respeito, e conclui em apresentar planos para atender esta necessidade. Percebe-se que há a interação entre as fases podendo haver repetições muitas vezes necessárias para melhoria e desenvolvimento do projeto.

A necessidade pode se apresentar de diversas formas, desde a criação de uma máquina até um processo de melhoria em um equipamento. Entretanto a definição do problema é mais específica e inclui as especificações para o objeto a ser projetado tais como as características (velocidades, avanços, peso, etc.), as dimensões, as limitações, dentre outras.

As especificações definem o custo, a quantidade a ser fabricada, a vida útil esperada, o intervalo, a temperatura de operação e a confiabilidade (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

**Figura 39. As fases de projeto.**



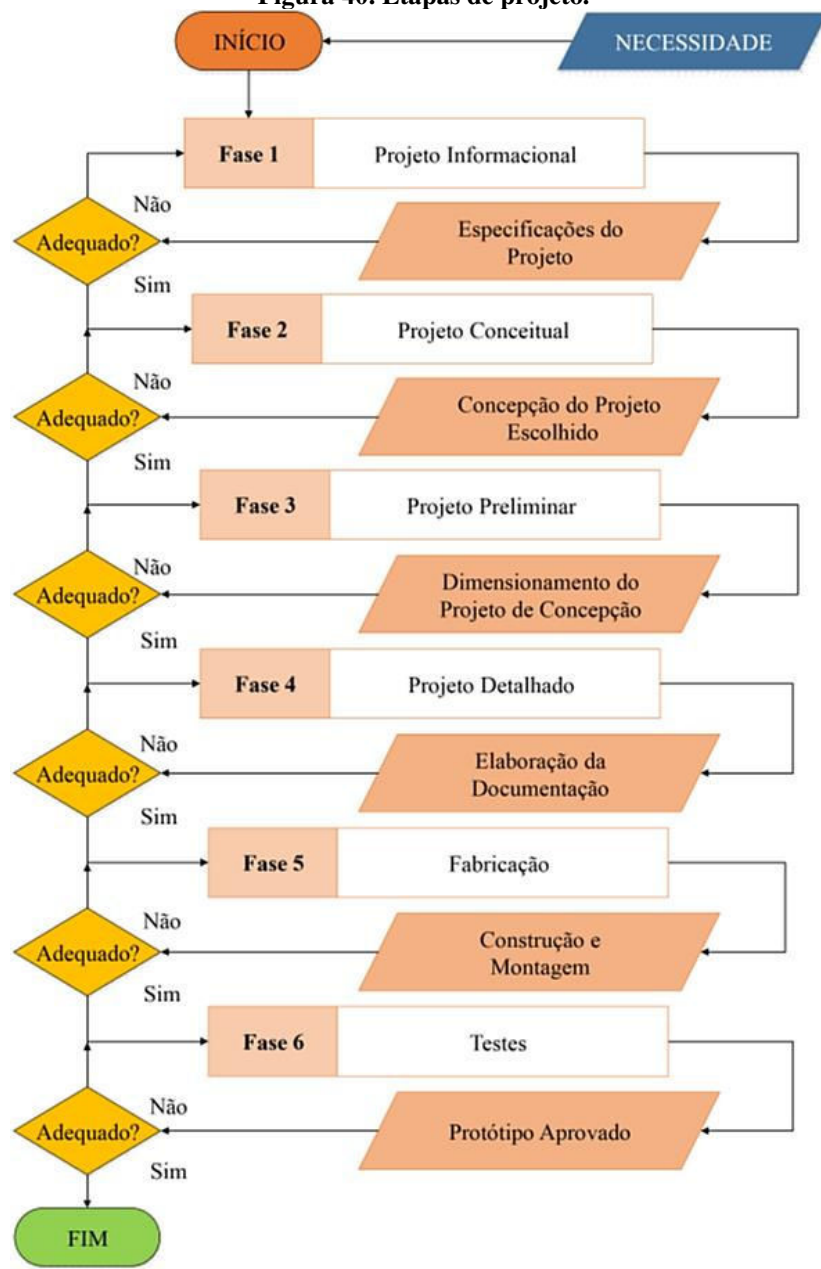
**Fonte: BUDYNAS e NISBETT, 2011.**

A síntese é o projeto conceitual em que se busca todas as alternativas de projeto possíveis. Segundo o NORTON, 2010, a síntese é a etapa de concepção e invenção, na qual é gerado o maior número possível de soluções. Estas soluções são estudadas na fase de análise. Aquelas com algum potencial são otimizadas para determinar o melhor desempenho capaz de ser atingido.

Os esquemas conseguidos com as soluções são comparados na fase de avaliação de modo a se chegar ao produto mais competitivo, de forma que este seja o escolhido. Esta fase em geral envolve testes em laboratórios e define se o projeto será bem-sucedido (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

A apresentação é a fase que consiste em apresentar o projeto a terceiros, é um trabalho de venda. Para cumprimento das fases básicas de qualquer projeto existem as etapas de projeto (figura 40): o projeto informacional, o projeto conceitual, o projeto preliminar e o projeto detalhado, estas etapas são sequenciadas pela fabricação e os testes necessários.

Figura 40. Etapas de projeto.



Fonte: Adaptado de MARIMBONDO, 2000.

O projeto informacional inclui: a identificação da necessidade junto a definição do problema que dá a ideia inicial do como será o produto final; o *Benchmarking*, que se trata de buscar as soluções e/ou produtos já existentes e analisa-los; os requisitos técnicos como as especificações citadas anteriormente; o levantamento dos parâmetros existentes; e a identificação das variáveis bem como a declaração dos dados, pois é importante reunir e fundamentar todas as informações obtidas e necessárias para a tomada de decisões dando continuidade ao projeto.

Como abordado, vários esquemas podem servir para uma determinada necessidade, entretanto dentre estes esquemas uma solução será melhor. Assim sendo, o projeto conceitual consiste em: elaborar uma matriz de decisão; esboçar a possível solução; identificar possíveis dificuldades de implementação da solução; escolher as melhores concepções da possível solução.

O projeto preliminar consiste no dimensionamento do projeto de concepção, ou seja, da possível solução selecionada na etapa anterior. São tomadas as decisões preliminares do projeto.

O objetivo desta fase é oferecer um roteiro destinado a auxiliar os projetistas a otimizarem a melhor concepção de projeto escolhida na fase anterior, destinadas a atender o tipo de problema em estudo (MARIBONDO, 2000). Para isso croquis (desenho, rascunho) do projeto são feitos; é realizada a construção do projeto no CAD/CAE; são determinados os fenômenos e os seus possíveis equacionamentos; são feitos cálculos; busca-se a otimização do projeto verificando também a sua viabilidade.

O projeto detalhado já é a etapa de construção detalhada do projeto no CAD/CAE, incluindo a criação de desenhos técnicos para fabricação, listas de materiais e custos, o plano de fabricação, sempre repetindo a fase de análise de viabilidade do projeto, e pensando em como vender o projeto. Isto equivale à elaboração da documentação.

No projeto detalhado, quanto aos cálculos, modelos matemáticos de engenharia são criados e incluem diagramas de corpo livre com todas as forças, momentos e torques atuando sobre o elemento da máquina ou sistema e as equações apropriadas para os cálculos (NORTON, 2013).

A análise de projeto é realizada utilizando esses modelos, e a segurança ou falha do projeto é definida. Os resultados são avaliados em conjunto com as propriedades dos materiais de engenharia escolhidos. Em seguida, toma-se a decisão de prosseguir com o projeto ou iterar para encontrar uma solução melhor retornando assim a etapas anteriores (NORTON, 2013).

A etapa de fabricação consiste na construção do projeto, sendo esta vistoriada como também a montagem, verificando-se em seguida o produto do projeto. E os testes podem envolver protótipos em laboratórios.

Algumas considerações de projeto assim como recursos e ferramentas são necessárias. As considerações são os fatores importantes, ou seja, as características que influem no projeto do elemento ou máquina ou todo um sistema. Segundo o livro de BUDYNAS e NISBETT, 2011, essas características podem ser: funcionalidade; resistência/tensão; distorção/deflexão/rigidez; desgaste; corrosão; segurança; confiabilidade; fabricabilidade; utilidade; custo; atrito; peso; vida; ruído; estilo; forma; tamanho; controle; propriedades

térmicas; superfície; lubrificação; mercantilidade; manutenção; volume; responsabilidade pelo produto; refabricação/recuperação de recursos; dentre outras. A definição da quantidade de características depende da situação de projeto e deve ser escolhido e priorizado uma boa quantidade.

Quanto aos recursos e ferramentas para um projeto são muitos tais como:

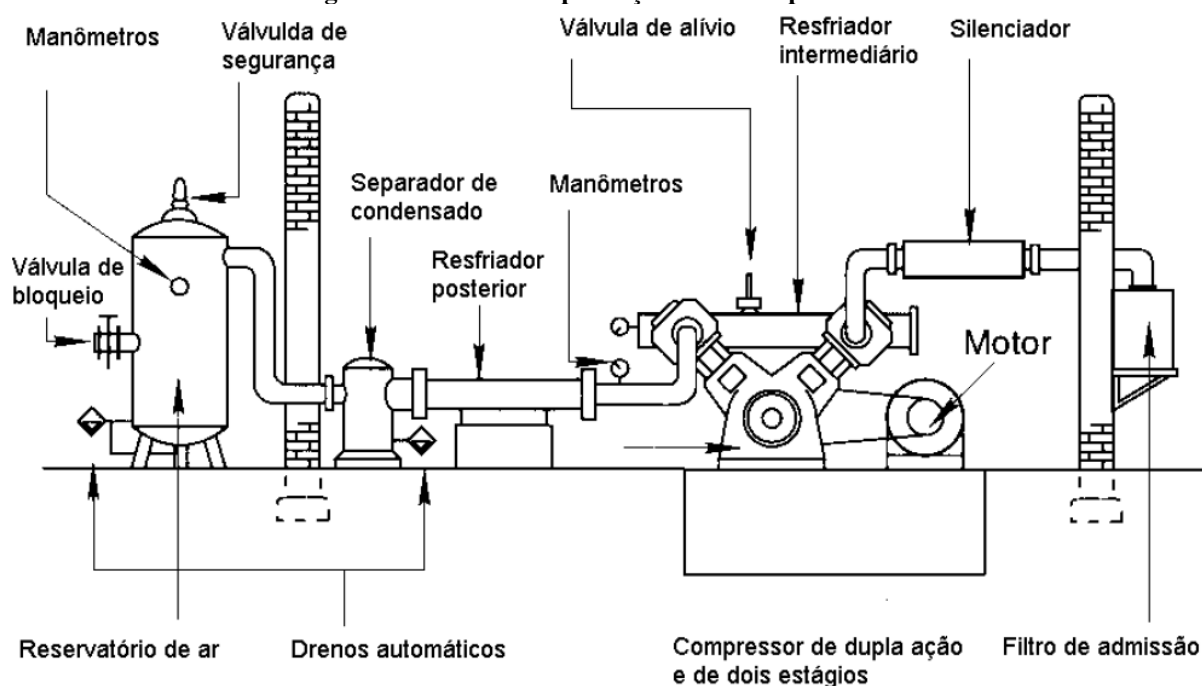
- Programas de desenho com auxílio de computador (CAD) que permitem o desenvolvimento de desenhos tridimensionais como o *AutoCAD*, o *Solid Works* e o *Autodesk Inventor*;
- Programas para análise de elementos finitos (AEF) capazes de realizar a análise de tensão e deflexão, vibração e transferência de calor como o *Algor* e o *ANSYS*;
- Programas de dinâmica dos fluidos como o *Fluent*;
- Programas para simulação de forças dinâmicas e movimento em mecanismos como o *ADAMS*;
- Programas para soluções de problemas matemáticos como o *Maple*, o *Matlab* e *MathCad*.

Outros recursos disponíveis são as normas providas pela ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), a SAE (*Society of Automotive Engineers*) e ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Também são utilizados catálogos de empresas/vendedores, literaturas técnicas, dados de ensaios, etc.

### 2.3. SISTEMAS HIDROPNEUMÁTICOS

Os sistemas pneumáticos convertem a pressão originada do ar comprimido (energia térmica) em energia mecânica e são compostos por determinadas unidades. A primeira é a unidade de produção de ar comprimido, pode se dizer que é a função motora do sistema, e é composta por um compressor com filtro de admissão e, para compressores de dois estágios, de um resfriador intermediário; resfriador posterior; separador de condensado; reservatório com válvula de segurança; e um secador (NEGRI, 2001).

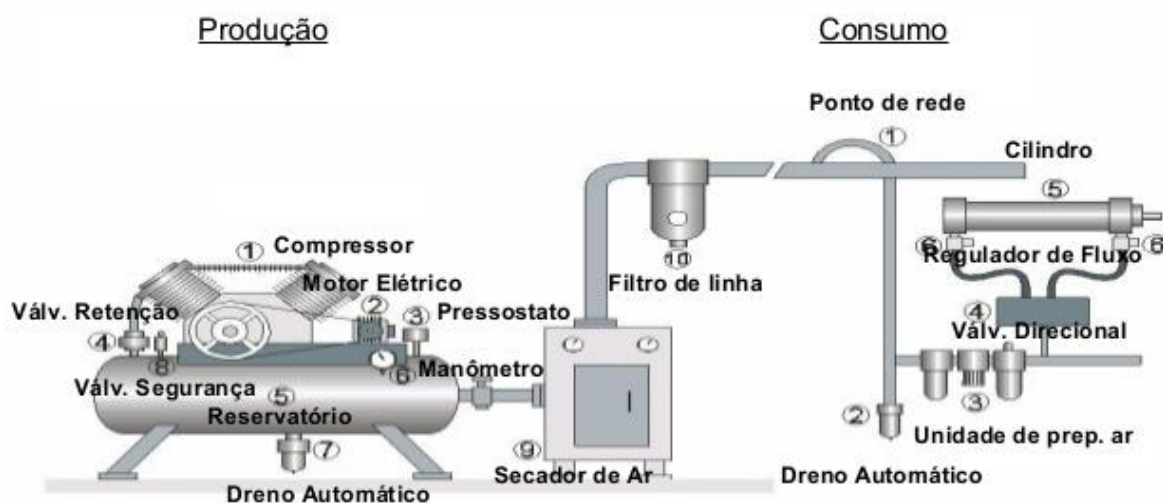
**Figura 41. Unidade de produção de ar comprimido.**



Fonte: NEGRI, 2001.

A segunda unidade é a unidade de consumo ou unidade de distribuição, pode se dizer que executam a função de transmissão no sistema e é composta por: um ponto de rede que é a saída de ar da tubulação principal; um dreno automático que elimina o condensado acumulado no ponto mais baixo da rede; uma unidade de preparação de ar que filtra e regula o ar comprimido da rede ajustando à pressão de trabalho; a válvula direcional que direciona o fluxo de ar para as suas utilizações; e os controladores de velocidade que controlam a velocidade dos atuadores pneumáticos (SMC, 2007). A figura 42 apresenta de forma básica as duas unidades que compõem o sistema pneumático de forma básica.

Figura 42. Sistema pneumático básico.



Fonte: SMC, 2007.

E por último os atuadores que irão transformar o ar comprimido em energia mecânica através de movimentos retilíneos, angulares ou rotativos. Estes equipamentos são tratados como parte da unidade de consumo de ar, e de fato são, pois consomem o ar que fora comprimido, entretanto, os atuadores serão tratados aqui como uma das possíveis soluções de equipamento para a função de selar.

Os sistemas pneumáticos são eficientes e conhecidos pela limpeza em sua aplicação por utilizar como fluido de trabalho o ar comprimido e por seu uma aplicação de alto custo, fatores que os levam a serem bastante utilizados nas indústrias farmacêuticas e empresas cujos processos são totalmente automatizados. Outras de suas características segundo FIALHO, 2011, são:

- A quantidade de ar a ser comprimido é infinita;
- O ar comprimido pode ser armazenado;
- Permitem alta velocidade de deslocamento;
- São sistemas de alto custo devido a implantação, produção, preparação, distribuição e manutenção;
- O escape de ar nas válvulas gera ruídos relativamente altos, o que leva a necessidade de silenciadores;
- A necessidade de vários componentes para compor o sistema como compressores, sistemas de regulação, filtros e elementos de tratamento, válvulas, atuadores, tubulações, dentre outros.

## 2.4. MOTORREDUTORES

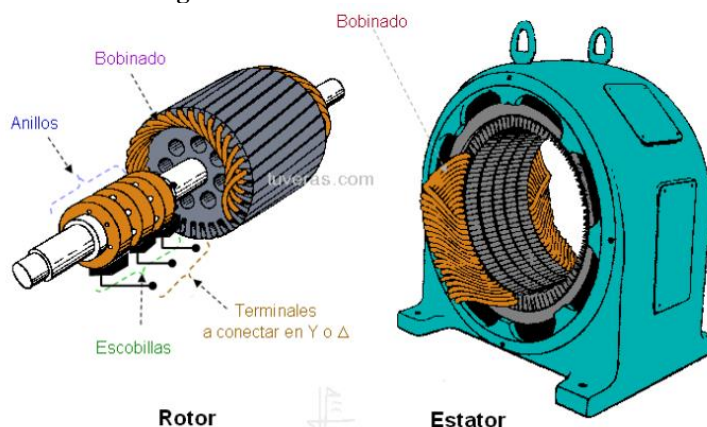
Os motores elétricos são máquinas elétricas rotativas que transformam energia elétrica em energia mecânica. Seu funcionamento se baseia em forças de atração e repulsão estabelecidas entre um ímã e um fio por onde circula a corrente elétrica. Para uma maior potência do motor bobinas maiores no rotor e um ímã mais forte, que é chamado de estator, são colocados em uma parte fixa adjacente ao rotor, a figura 44 mostra um rotor e um estator de um motor elétrico trifásico. A figura 43 ilustra motores elétricos de diferentes tamanhos.

**Figura 43. Motores elétricos.**



Fonte: COUTINHO, 2014<sup>25</sup>.

**Figura 44. Rotor bobinado e estator.**



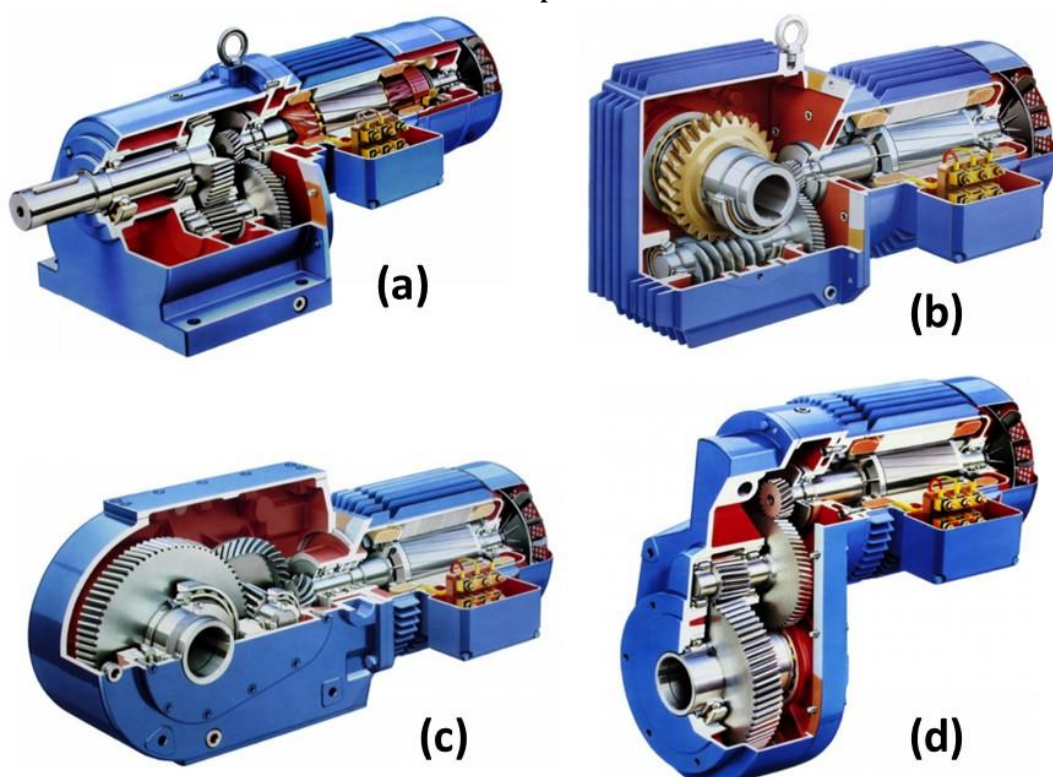
Fonte: VIEIRA.

<sup>25</sup> Disponível em <<https://ensinandoeletrica.blogspot.com.br/2014/12/motores-eletricos.html?m=0>>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

Os motores elétricos chamados de motoredutores são motores elétricos acompanhados de uma caixa redutora de velocidade. Este redutor pode ser constituído de engrenagens helicoidais, de eixos paralelos, de engrenagens cônicas, de rosca em fim, ou ainda com variadores de velocidade.

Dentre as vantagens de uso desses motores têm-se: economia, limpeza, conforto e segurança de funcionamento. Estas características têm levado o motor elétrico a substituir outras fontes de energia, tanto na indústria e nos transportes, minas, comércio, casa, etc.

**Figura 45. Exemplos de motoredutores. (a) Motoredutor coaxial com motor bobinado. (b) Motoredutor ortogonal, eixo oco com sem fim/correa (c) Motoredutor ortogonal, eixo oco com par cônico. (d) Motoredutor com eixos paralelos com eixo oco.**



Fonte: RTC<sup>26</sup>.

O objetivo do motoredutor é fornecer movimento rotativo (*rpm*) com torque elevado (*Nm*). Sua construção pode ser feita em alumínio ou ferro fundido, sendo o engrenamento em aço e/ou bronze. A figura 45 apresenta alguns modelos de motorredutores.

## 2.5. ESTEIRAS TRANSPORTADORAS

<sup>26</sup> Disponível em <<http://www.rtc.net.br/comentarios-importantes-sobre-motoredutores/>>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

Toda a terminologia relacionada às correias transportadoras e os elementos que compõem uma esteira pode ser encontrada na NBR 6177.

A concepção específica, tamanho, forma e materiais utilizados em sua construção podem variar com base no destino da unidade, são muitos os tipos de esteiras e as variações de suas classificações que podem ser de acordo com o tipo de correia transportadora, quanto à forma como operam, quanto ao ângulo de inclinação com que operam, quanto ao tipo de aplicação, quanto ao revestimento, etc. (CAETANO).

Dentre os tipos principais de esteiras transportadoras e as suas classificações, tem-se:

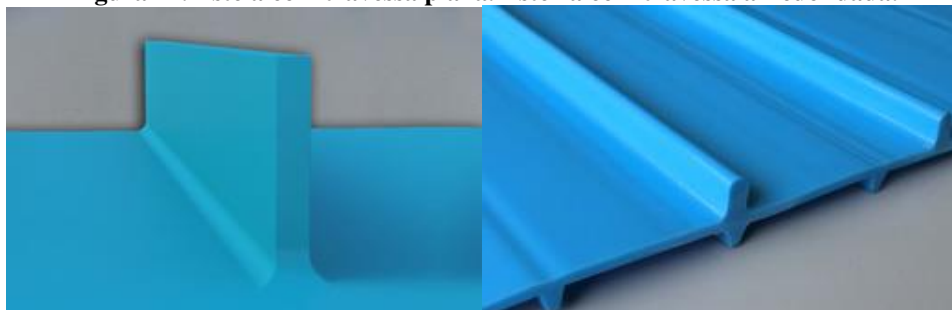
- Quanto ao tipo de correia transportadora: correias planas com nervuras (figura 48), travessas ou bordos de contenção (figura 49), pois facilitam o transporte dos materiais, evitam o retorno ou mesmo perda dos materiais transportados e aumentam a capacidade de carga. As figuras 46 e 47 mostram correias com travessas.

**Figura 46. Correia transportadora com travessas.**



Fonte: Logismarket<sup>27</sup>.

**Figura 47. Esteira com travessa plana. Esteira com travessa arredondada.**



Fonte: Mafdel<sup>28</sup>.

<sup>27</sup> Disponível em <<https://www.logismarket.pt/ip/a-c-j-silva-correias-transportadoras-com-travessas-correia-com-travessas-1081416-FGR.jpg>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

<sup>28</sup> Disponível em <<http://www.mafdel-belts.com/pt-pt/produto/acessorios-esteira-transportadora/>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

**Figura 48. Correia com ranhuras.**



Fonte: AliExpress<sup>29</sup>.

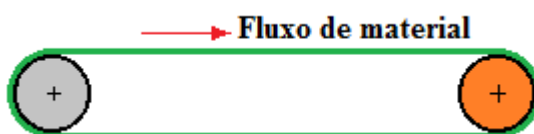
**Figura 49. Correia transportadora com travessas e bordos de contenção.**



Fonte: CAETANO<sup>30</sup>.

- Quanto à forma como operam: correias planas são correias que operam sem abaulamento. A sua escolha é evidenciada pelo formato retangular do produto a ser transportado, além de serem de mais fácil projeto e confecção.

**Figura 50. Correia plana sem abaulamento.**



Fonte: CAETANO<sup>31</sup>.

- Quanto ao ângulo de inclinação com que operam: pode estar entre 0 e 90°;
- Quanto ao tipo de aplicação: leva-se em consideração as condições de serviço;
- Quanto ao tipo de orlas: está relacionado aos bordos de contenção.

<sup>29</sup> Disponível em <<https://pt.aliexpress.com/cheap/cheap-ribbed-rubber-belt.html>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

<sup>30</sup> Disponível em <[http://ctborracha.com/?page\\_id=10284](http://ctborracha.com/?page_id=10284)>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

<sup>31</sup> Disponível em <[http://ctborracha.com/?page\\_id=10284](http://ctborracha.com/?page_id=10284)>. Acessado em 13 de agosto de 2017.

- Quanto ao tipo da superfície de transporte: as correias transportadoras podem apresentar a sua superfície lisa, superfície rugosa, e superfície com nervuras, travessas ou bordos de contenção.

Quando as correias operam com inclinações superiores a 20°, a existência de nervuras, travessas, bordos de contenção ou combinação de travessas com bordos de contenção é uma necessidade, para um transporte eficiente dos diversos tipos de materiais (CAETANO).

## 2.6. EMBALAGENS DE PICOLÉS

As embalagens padrão para picolé são feitas de polipropileno orientado biaxialmente (BOPP) perolizado no formato 7 cm x 19 cm, produzidas com filme BOPP perolizado 26 g.

BOPP é a sigla para "*bi-axially oriented polypropylene*", que em português se refere ao Polipropileno Biorientado, material que compõe um filme plástico de alta resistência muito usado na fabricação de embalagens flexíveis. Possibilita um forte apelo visual ao produto nos pontos de vendas, por ser brilhante e pela versatilidade que oferece. O BOPP pode ser transparente, opaco fosco ou metalizado<sup>32</sup>.

O BOPP oferece uma grande facilidade de processamento, devido ao tratamento superficial, à aditivação e à resistência a altas temperaturas. A impressão, laminação, selagem e deslizamento das embalagens são facilitados com o uso do BOPP. E o material pode ser utilizado em diferentes tipos de impressão<sup>33</sup>.

O BOPP pode ser perolizado, laminado, metalizado e magazine. O perolizado tem seu uso recomendado para embalagens de picolés, biscoitos recheados e chocolates<sup>34</sup>.

---

<sup>32</sup> Informações retiradas do site < <http://www.artflexmt.com.br/Perguntas-Frequentes/quais-sao-as-caracteristicas-do-bopp-perolizado.html>>. Acessado em 17 de outubro de 2017.

<sup>33</sup> Informações retiradas do site < <http://www.artflexmt.com.br/Perguntas-Frequentes/quais-sao-as-caracteristicas-do-bopp-perolizado.html>>. Acessado em 17 de outubro de 2017.

<sup>34</sup> Informações retiradas do site < <http://www.artflexmt.com.br/Perguntas-Frequentes/quais-sao-as-caracteristicas-do-bopp-perolizado.html>>. Acessado em 17 de outubro de 2017.

### 3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, diferentes fontes foram buscadas tais como: livros, normas, apostilas, catálogos, notas de aula, sites, etc. As ferramentas de trabalho foram: Excel e o software CAD/CAE Autodesk Inventor Professional 2015.

Para a composição e a melhor disposição dos elementos envolvidos foram analisados os equipamentos já existentes no mercado. Os materiais sugeridos para futuras confecções foram analisados de acordo com as condições de trabalho que a máquina poderia ser submetida. As dimensões dos elementos envolvidos foram escolhidas, selecionados ou calculados de acordo com as funções pretendidas a serem executadas pela máquina seladora e a dimensão da embalagem padrão de picolés.

Alguns sites foram visitados na busca das dimensões das embalagens encontradas no mercado. As dimensões variam entre as seguintes:  $7\text{cm} \times 19\text{cm}$  ,  $7,5\text{cm} \times 19\text{cm}$  ,  $7\text{cm} \times 20,5\text{cm}$  e  $7,5\text{cm} \times 20,5\text{cm}$ , entretanto a embalagem mais econômica e, portanto, a mais utilizada é a de  $7\text{cm} \times 19\text{cm}$ , esta é a embalagem padrão.

Os dados (requisitos) iniciais para o desenvolvimento do projeto foram baseados nas características almejadas para a máquina: uma seladora para picolés retangulares ou de formato semelhante embalados em embalagens de BOPP; produção estimada de 40 picolés por minuto; necessidade apenas de um operador; uma máquina compacta, econômica e que necessitasse de poucos comandos de controle.

No geral, o projeto seguiu a metodologia de projeto de engenharia, iniciando no projeto informacional, entretanto, finalizando dando início ao projeto detalhado. A figura 51 define a metodologia deste trabalho determinando o que é realizado em cada etapa de projeto.

Nas etapas de análise das possíveis soluções e de seleção da melhor concepção elaborada foram consideradas algumas das características importantes de um projeto abordadas nos referenciais, características como leveza, custo de fabricação, ruído, volume, dificuldade de projeto, dificuldade de montagem, facilidade de operação, custo de manutenção e confiabilidade.

**Figura 51. Metodologia do trabalho e a delimitação das etapas do projeto.**



Fonte: própria autoria.

Cada elemento principal que compõem a máquina foi dimensionado e projeto separadamente para depois compor a seladora. O equipamento foi desenhado no software Autodesk Inventor Professional 2015.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os resultados do projeto que foram obtidos através de estudos e pesquisas, sendo seguidas as etapas de projeto, estão evidenciados nesse capítulo.

### 4.1. PROJETO INFORMACIONAL

Para a concepção de um projeto mais adequado para os objetivos pretendidos foram analisadas algumas das máquinas existentes seladoras de picolés.

A primeira máquina é a Seladora Datadora para Embalagem de Picolé TCH 200 D Barbi (figura 52). É uma seladora de pedal que realiza solda recravada horizontal, podendo conter um datador. Este é utilizado quando se deseja inserir uma data (fabricação e/ou validade) às embalagens. Esta máquina vem com um alojamento para nove tipos espelhados (exemplo: VAL031208) acompanhado de um jogo com 32 tipos, cujo jogo "espelhado" é recomendado para embalagens aluminizadas.

**Figura 52. Seladora Datadora para Embalagem de Picolé TCH 200 D Barbi, Seladora de pedal - Solda Recravada Horizontal com Datador.**



**Fonte: Mercado livre<sup>35</sup>.**

---

<sup>35</sup> Disponível em: <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-789901901-seladora-barramento-datador-barbi-tch200d-pedal-varimaq-\\_JM?source=gps](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-789901901-seladora-barramento-datador-barbi-tch200d-pedal-varimaq-_JM?source=gps)> acessado em 8 de março de 2017.

Essa máquina é totalmente manual, é acionada com o pé e possui um sistema de molas e o selamento é efetuado pelas barras no momento do acionamento que faz com que a barra superior se desloque até quase encostar na barra inferior.

Uma outra máquina também de pedal é a Seladora a Pedal 30cm Barramento Quente (figura 53), existem também a de 35 e 40 cm. De mesmo acionamento da máquina anterior. Esta pode ser utilizada para as embalagens de polietileno e polipropileno.

**Figura 53. Seladora a Pedal 30 cm Barramento Quente.**



**Fonte: Cetro loja<sup>36</sup>.**

Existem algumas máquinas seladoras automáticas (figuras 54 e 55), que são semelhantes entre si, e realizam o selamento através de um conjunto de pares sequências de rolos por onde passam as aberturas das embalagens a serem seladas.

Essas, por mais que sejam ditas automáticas, a quantidade de picolés selados em um determinado período de tempo depende da agilidade do operador em posicionar as embalagens de forma adequada. Seladora automática contínua de alta produção, com datador e possui

<sup>36</sup> Disponível em <[https://www.cetroloja.com.br/seladora-de-pedal-30cm?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwktHLBRDsARIsAFBSb6yvPreMLHA4jQce9LOmf3UTPFYMM9RSH\\_j0M3xeVg5jMBtFO4L8NtYaAm\\_0EALw\\_wcB#ir-ate](https://www.cetroloja.com.br/seladora-de-pedal-30cm?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwktHLBRDsARIsAFBSb6yvPreMLHA4jQce9LOmf3UTPFYMM9RSH_j0M3xeVg5jMBtFO4L8NtYaAm_0EALw_wcB#ir-ate)> acessado em 23 de julho de 2017.

controle de temperatura e velocidade da esteira. São utilizadas também para selar carnes, grãos, frios, peixe, entre outros.

**Figura 54. Seladora Automática Para Picolé.**



Fonte: Mercado livre<sup>37</sup>.

**Figura 55. Seladora Contínua Horizontal Com Datador Para Picolé, MOD FRD1000W.**



Fonte: Mercado Livre.<sup>38</sup>

Elas também possuem um datador acompanhado de um estojo com 3 números de cada do 0 ao 9 e as letras F - L - V, vendidos separadamente. Elas permitem regular a esteira para ajustar os tamanhos das embalagens e apresentam uma ventoinha para resfriamento das mesmas.

Outros dados relativos quanto ao levantamento sobre as máquinas seladoras estão dispostos na tabela 3. A mesma consta os tipos de embalagens que podem ser seladas dentre outras informações técnicas como as dimensões das máquinas, as dimensões do selamento, voltagem, peso, preço, dentre outros conforme pode se observar.

<sup>37</sup> Disponível em <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-838854827-seladora-para-picole-\\_JM?source=gps](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-838854827-seladora-para-picole-_JM?source=gps)> acessado em 8 de março de 2017.

<sup>38</sup> Disponível em <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-755308341-seladora-continua-horizontal-com-datador-para-picole-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-755308341-seladora-continua-horizontal-com-datador-para-picole-_JM)> acessado em 8 de março de 2017.

Tabela 3. Dados coletados sobre as principais máquinas seladoras no mercado.

| Máquinas Seladoras                        |                                                                                                                   |                                               |                                                        |                                                                           |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Descrição da Máquina                      | Seladora Datadora para Embalagem de Picolé TCH 200 D Barbi                                                        | Seladora a Pedal 30 cm Barramento Quente      | Seladora Automática Para Picolé (Modelo RG-FRD900S)    | Seladora Contínua Horizontal Com Datador Para Picolé (MOD FRD1000W)       |
| Uso                                       | Industrial                                                                                                        | Industrial                                    | Industrial                                             | Industrial                                                                |
| Capacidade de Produção                    | 3 turnos de produção sem interrupção.                                                                             | -                                             | -                                                      | -                                                                         |
| Embalagens                                | Sacos de polipropileno(p.p.), polipropileno biorientado(Bopp) e polipropileno aluminizado.                        | Poliétileno, polipropileno, aluminizados,etc. | Poliétileno, polipropileno, aluminizados, solapa, etc. | Qualquer embalagem plástica, também sela papel grau cirúrgico e cartelas. |
| Tipo de Selagem                           | Solda recravada em relevo com desenho horizontal em sacos plásticos de até 200 mm de boca x 0,20 mm de espessura. | Comprimento de selagem de até 300 mm.         | Selagem horizontal de largura de 10 mm.                | Selagem horizontal de largura de 6 a 15 mm.                               |
| Controle de Temperatura                   | Controlada por circuito eletrônico.                                                                               | -                                             | 0 - 300 °C                                             | 1 - 300 °C                                                                |
| Datador                                   | Possui um.                                                                                                        | -                                             | Possui um.                                             | Possui um.                                                                |
| Voltagem                                  | 110 e 220 volts                                                                                                   | 111 e 220 volts - 50/60 Hz (bivolt)           | 220 volts - 60 Hz                                      | 221 volts; 50 - 60 Hz                                                     |
| Potência                                  | 400 W                                                                                                             | -                                             | 600 W                                                  | -                                                                         |
| Velocidade                                | -                                                                                                                 | -                                             | -                                                      | 0 - 13m/min                                                               |
| Consumo Médio                             | 0,30 kWh                                                                                                          | -                                             | -                                                      | 0,6 kWh                                                                   |
| Medidas (largura x profundidade x altura) | 450 mm x 380 mm x 970 mm                                                                                          | 300 mm x 240 mm x 1000 mm                     | 950 mm x 400 mm x 660 mm                               | 851 mm x 420 mm x 360 mm                                                  |
| Peso Bruto                                | 12,2 Kg                                                                                                           | 16 kg                                         | 25 kg                                                  | 32 kg                                                                     |
| Largura da Esteira                        | -                                                                                                                 | -                                             | 160 mm                                                 |                                                                           |
| Capacidade Máxima da Esteira              | -                                                                                                                 | -                                             | 5 kg                                                   | 5 kg                                                                      |
| Preço                                     | R\$ 1300,00 - R\$ 1.700,00                                                                                        | R\$ 500,00 - R\$ 1.000,00                     | R\$ 2.000,00 - R\$ 3.000,00                            | R\$ 4.000,00                                                              |

Fonte: autoria própria.

Existem ainda algumas outras máquinas manuais, aconselhadas ao uso comercial ou doméstico. Essas também são manuais e o seu acionamento não é de pedal, é manual, ou seja, um operador ao selar picolés precisa segurar o picolé com uma mão e com a outra deve pressionar a embalagem com a seladora. Algumas das seladoras com o acionamento manual descrito estão ilustradas nas figuras 56, 57 e 58. Os dados coletados sobre essas seladoras estão dispostos na tabela 4.

**Figura 56. Seladora Manual 20 cm NACIONAL.**



Fonte: Cetro loja<sup>39</sup>.

**Figura 57. Seladora Térmica Manual Westpress.**



Fonte: Artgraf etiquetas<sup>40</sup>.

<sup>39</sup> Disponível em <[https://www.cetroloja.com.br/seladora-manual-30-cm-nacional?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwktHLBRDsARIsAFBSb6x9RC7E8Hvbu3oOOK-sfedG\\_fIqfNLIVMYU6prGFGiJcwraVJCe9VwaAmjWEALw\\_wcB](https://www.cetroloja.com.br/seladora-manual-30-cm-nacional?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwktHLBRDsARIsAFBSb6x9RC7E8Hvbu3oOOK-sfedG_fIqfNLIVMYU6prGFGiJcwraVJCe9VwaAmjWEALw_wcB)> acessado em 23 de julho de 2017.

<sup>40</sup> Disponível em <[https://www.aartgraf.com.br/loja/seladora-termica-manual-westpress?utm\\_source=google&gclid=Cj0KCQjwktHLBRDsARIsAFBSb6x9lh5JkhxQnY-9B126rD7XDt45OkcyhZW14WmPxdmDUrvqGAf-5MaAvl3EALw\\_wcB](https://www.aartgraf.com.br/loja/seladora-termica-manual-westpress?utm_source=google&gclid=Cj0KCQjwktHLBRDsARIsAFBSb6x9lh5JkhxQnY-9B126rD7XDt45OkcyhZW14WmPxdmDUrvqGAf-5MaAvl3EALw_wcB)> acessado em 23 de julho de 2017.

**Figura 58. Seladora Selamil Portatil De Mesa 30 cm.**



Fonte: Mercado livre<sup>41</sup>.

**Tabela 4. Dados sobre as principais máquinas seladoras de acionamento manual.**

| <b>Máquinas Seladoras Manuais</b>               |                                                                                                           |                                                                                                                                       |                                                                                                                                       |                                                                                                           |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Descrição da Máquina</b>                     | <b>Seladora Manual 20 cm NACIONAL</b>                                                                     | <b>Seladora Térmica Manual Westpress (W200)</b>                                                                                       | <b>Seladora Térmica Manual Westpress (W300)</b>                                                                                       | <b>Seladora Selamil de Mesa 30 Cm</b>                                                                     |
| <b>Produção</b>                                 | Pequena e média.                                                                                          | Pequena e média.                                                                                                                      | Pequena e média.                                                                                                                      | Pequena e média.                                                                                          |
| <b>Embalagens</b>                               | Polietileno e polipropileno.                                                                              | Polietileno e polipropileno.                                                                                                          | Polietileno e polipropileno.                                                                                                          | Polipropileno, polietileno, aluminizadas, nylon, poliolefinico e PVC encolhível.                          |
| <b>Tipo de Selagem</b>                          | Solda em linha horizontal. O tempo de selagem depende da embalagem. Comprimento de selagem de até 200 mm. | Solda em linha horizontal. O tempo de selagem depende da embalagem. Largura de selagem de 2 mm. Comprimento de selagem de até 200 mm. | Solda em linha horizontal. O tempo de selagem depende da embalagem. Largura de selagem de 2 mm. Comprimento de selagem de até 300 mm. | Solda em linha horizontal. O tempo de selagem depende da embalagem. Comprimento de selagem de até 370 mm. |
| <b>Controle de Temperatura</b>                  | -                                                                                                         | 8 Níveis                                                                                                                              | 8 Níveis                                                                                                                              | Possui.                                                                                                   |
| <b>Voltagem</b>                                 | 110 e 220 volts                                                                                           | 111 e 220 volts                                                                                                                       | 112 e 220 volts                                                                                                                       | -                                                                                                         |
| <b>Potência</b>                                 | -                                                                                                         | 300 W                                                                                                                                 | 300 W                                                                                                                                 | -                                                                                                         |
| <b>Medidas (largura x comprimento x altura)</b> | 200 mm x 200 mm x 120 mm                                                                                  | 80 mm x 320 mm x 200 mm                                                                                                               | 80 mm x 420 mm x 270 mm                                                                                                               | 370 mm x 180 mm x 900 mm                                                                                  |
| <b>Peso Bruto</b>                               | 3,6 kg                                                                                                    | -                                                                                                                                     | -                                                                                                                                     | 2,5 kg                                                                                                    |
| <b>Preço</b>                                    | R\$ 200,00 - R\$ 500,00                                                                                   | R\$ 100,00 - R\$ 300,00                                                                                                               | R\$ 100,00 - R\$ 300,00                                                                                                               | R\$ 200,00 - R\$ 500,00                                                                                   |

Fonte: autoria própria.

<sup>41</sup> Disponível em <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-784126889-seladora-r-baio-selamil-portatil-de-mesa-30-cm-inmetro-\\_JM?source=gps](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-784126889-seladora-r-baio-selamil-portatil-de-mesa-30-cm-inmetro-_JM?source=gps)> acessado em 23 de julho de 2017.

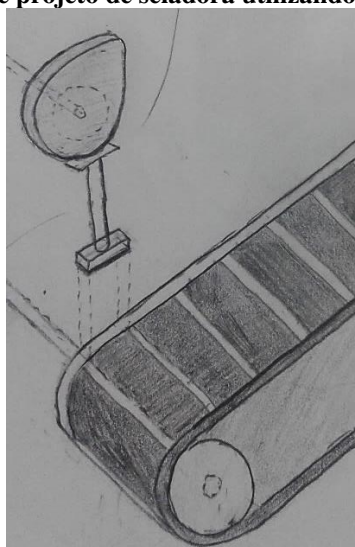
## 4.2. PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual começa com a determinação das soluções para o projeto e termina com a delimitação da concepção do projeto.

A análise das principais soluções quanto à forma para se selar é realizada através de croquis feito a punho, que se resumiram em esboçar/representar o elemento responsável pela selagem e o elemento responsável pelo deslocamento dos picolés, a esteira. Através da técnica de Brainstorming, viu-se que a selagem poderia ser executada com o uso de um ou mais came-seguidores, sistemas de hidropneumáticos e o mecanismo biela-manivela.

Como foi visto nos referenciais, os came-seguidores são mecanismos cujo elemento motor, o came, é responsável pela transformação do movimento de rotação de um elemento em movimento alternado de um outro elemento que é o seguidor. Assim sendo supõe-se a selagem sendo realizada de acordo com a figura 59, utilizando um came de disco e um seguidor de retorno por mola que selasse que um picolé por vez.

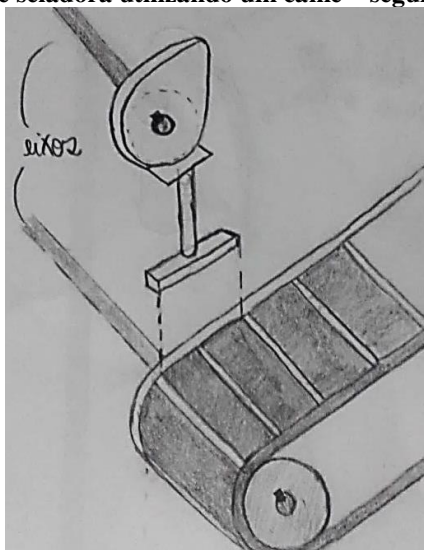
**Figura 59. Croqui de projeto de seladora utilizando um came – seguidor.**



**Fonte: Própria autoria.**

Poderia se ter ainda mais comes ou ainda um único came selando dois picolés por vez como suposto no croqui da figura 60, onde também se supõe o uso de esteira para o deslocamento dos picolés e se utiliza um came com um seguidor de retorno por mola que sele dois picolés ao mesmo tempo.

**Figura 60. Croqui de projeto de seladora utilizando um came – seguidor que possa selar dois picolés.**



**Fonte: Própria autoria.**

Uma máquina seladora composta com base em um sistema pneumático teria sua selagem executada por um atuador que estaria conectado a todos os outros elementos que compõem o sistema. Um croqui básico desse sistema está exposto na figura 61, em que se tem uma esteira e um atuador cujo movimento define o movimento vertical da barra e a velocidade de selagem executada pela mesma.

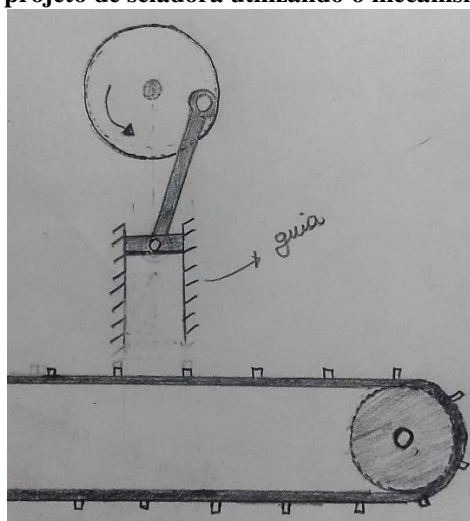
**Figura 61. Croqui de projeto de seladora utilizando um atuador pneumático.**



**Fonte: Própria autoria.**

Um outro mecanismo que poderia ser utilizado além de came – seguidor é o mecanismo biela – manivela cujo croqui de forma muito objetiva está esboçado na figura 62.

**Figura 62. Croqui de projeto de seladora utilizando o mecanismo de biela – manivela.**



**Fonte: Própria autoria.**

Tendo como soluções os equipamentos came de disco e seguidor, o atuador pneumático e o mecanismo biela – manivela para execução da selagem, listou – se algumas das 26 considerações de projetos para comparação e verificação da melhor solução como leveza, custo de fabricação, ruído, volume, dificuldade de projeto, dificuldade de montagem, facilidade de operação, custo de manutenção e confiabilidade. O comparativo está abordado na tabela 5.

**Tabela 5. Comparação dos elementos utilizados para a selagem.**

| Critérios                      | Soluções        |                    |                  |
|--------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|
|                                | Came - seguidor | Atuador Pneumático | Biela - Manivela |
| <b>Leveza</b>                  | Alto            | Médio              | Médio            |
| <b>Custo de fabricação</b>     | Baixo           | Alto               | Médio            |
| <b>Ruído</b>                   | Baixo           | Alto               | Baixo            |
| <b>Volume</b>                  | Baixo           | Alto               | Médio            |
| <b>Dificuldade de Projeto</b>  | Baixo           | Médio              | Médio            |
| <b>Dificuldade de Montagem</b> | Baixo           | Médio              | Baixo            |
| <b>Facilidade de Operação</b>  | Alto            | Baixo              | Alto             |
| <b>Custo de Manutenção</b>     | Médio           | Alto               | Médio            |
| <b>Confiabilidade</b>          | Alto            | Alto               | Alto             |

**Fonte: Própria autoria.**

Para a função de deslocamento dos picolés a melhor solução é a esteira com a velocidade sincronizada com o elemento selador. As esteiras são bastante utilizadas por duas características fundamentais: melhoram a ergonomia e aumentam a produtividade.

Este tipo de maquinário é projetado para mover materiais ou objetos sobre certa distância, o que acaba por dar mais dinamismo ao ambiente de trabalho.

Algumas decisões já podem ser tomadas com relação a esteira que são:

- Para o deslocamento dos picolés as ranhuras não são necessárias, o que diminui o custo de confecção da esteira, também não é necessário bordos de contenção, pois ângulo de operação a ser escolhido é  $0^\circ$ , o que além de diminuir o custo, facilita a instalação e manuseio, tornando assim a esteira mais simples. Quanto às travessas, as arredondadas são mais viáveis por: facilitar ao operador o uso da esteira definindo as posições corretas sobre onde colocar os picolés embalados; e facilitar o processo de limpeza, é mais rápida e mais fácil do que se fossem utilizadas travessas planas.
- Quanto ao ângulo de inclinação com que operam: é mais eficiente que seja ângulo  $0^\circ$  tanto para a função de transporte, quanto por questões ergonômicas no uso da esteira pelo operador que vai dispor os picolés embalados sob a esteira.
- Quanto ao tipo de aplicação: transportadora sem requisitos especiais que transportará um alimento já embalado e o peso total a ser suportado é relativamente leve.
- Quanto ao tipo de orlas: não necessidade, já que não é elevação de carga, apenas transporte na horizontal.

As outras decisões a serem tomadas quanto às esteiras serão tomadas na próxima etapa (projeto preliminar) quando os cálculos serão executados. Mas em suma tem-se por decisões iniciais que a correia transportadora será lisa, plana com travessas arredondadas, sem abaulamento, com ângulo de operação  $0^\circ$  e poderá ser fornecida fechada por apresentar pequenas dimensões, já que se deseja uma máquina seladora compacta tanto quanto possível mantendo a eficiência desejada.

Quanto à função motriz depende do mecanismo de selagem escolhido: para o atuador pneumático será necessário todo um aparato junto ao compressor; e para os mecanismos de came – seguidor e biela- manivela tem-se algumas opções como alguns tipos de motores de elétricos encontrados no mercado que são os motoredutores.

O que faz este tipo de motor ser ideal para o projeto em questão por permite adaptar o motor à velocidade desejada do mecanismo cuja função é selar. Além disso, de maneira geral,

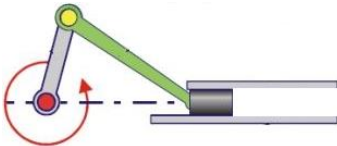
apresentam as seguintes vantagens: baixo nível de ruído; são econômicos; a lubrificação é para toda a vida; e a carcaça dos redutores é leve por ser construída de alumínio.

Quanto à função de transmissão poderiam ser utilizados: polias; engrenagens de dentes retos ou helicoidais ou cônicos; e para o sistema pneumático as válvulas, as tubulações e os equipamentos já descritos que compõem a unidade de consumo.

As polias juntamente com as correias e as engrenagens são citadas com o mesmo princípio, o de transmitir rotação aumentando ou diminuindo a velocidade para os elementos de selagem, o came -seguidor ou ao mecanismo biela – manivela.

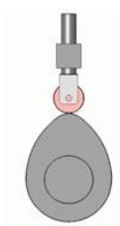
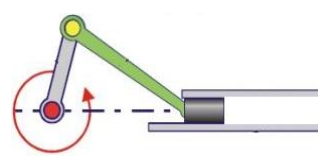
Assim sendo, na tabela 6 estão reunidas todas as soluções discutidas até então e as respectivas funções cabíveis a cada uma. Todos os acessórios que estão na tabela podem ser agregados ao projeto, porém alguns, como discutido, podem apresentar vantagens em relação a outro que tenha a mesma finalidade. Portanto, na tabela 7 estão apresentadas três concepções elaboradas com as possíveis soluções.

Tabela 6. As principais soluções.

| Função       | Possíveis Soluções                                                                    |                                                                                    |                                                                                     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Selagem      |      |   |   |
|              | Came de Disco                                                                         | Atuador Pneumático                                                                 | Biela - manivela                                                                    |
| Matora       |      |                                                                                    |   |
|              | Reservatório                                                                          |                                                                                    | Motoredutor                                                                         |
| Transmissão  |     |  |  |
|              | Polias                                                                                | Engrenagens                                                                        |                                                                                     |
| Deslocamento |    |                                                                                    |                                                                                     |
|              |  |                                                                                    |                                                                                     |
|              | Esteira com travessas                                                                 |                                                                                    |                                                                                     |

Fonte: própria autoria.

Tabela 7. Concepções que atendem ao objetivo global.

| Função       | Concepção 1                                                                         | Concepção 2                                                                           | Concepção 3                                                                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Selagem      |    |     |                                                                                                  |
| Motora       |    |     |                                                                                                  |
| Transmissão  |   |    | <br>Ou<br> |
| Deslocamento |  |  |                                                                                                                                                                                     |

Para todas as concepções

Fonte: própria autoria.

A análise é realizada comparando-se as três opções mostradas na tabela 7, que foram demonstradas inicialmente de forma simples pelos croquis. Essa comparação é feita atribuindo pesos para todos as características de projeto selecionadas com base naquelas 26 citadas anteriormente. A análise está exposta na tabela 8 e realizada da seguinte forma: de 0 a 4 ruim,

de 5 a 6 regular, de 7 a 8 bom e de 9 a 10 é excelente. Os números qualificam cada concepção em relação a cada característica considerada.

**Tabela 8. Comparação entre as concepções de projeto.**

| <b>Características de Projeto</b>               | <b>Concepção 1</b> | <b>Concepção 2</b> | <b>Concepção 3</b> |
|-------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Leveza</b>                                   | 9                  | 6                  | 8                  |
| <b>Menor custo de fabricação e/ou aquisição</b> | 8                  | 5                  | 7                  |
| <b>Menor ruído gerado</b>                       | 7                  | 6                  | 7                  |
| <b>Compatibilidade</b>                          | 9                  | 6                  | 9                  |
| <b>Menor dificuldade de montagem</b>            | 8                  | 7                  | 8                  |
| <b>Menor manutenção necessária</b>              | 8                  | 7                  | 6                  |
| <b>Facilidade de operação</b>                   | 8                  | 8                  | 8                  |
| <b>Menor dificuldade de projeto</b>             | 10                 | 9                  | 6                  |
| <b>Materiais de baixo custo</b>                 | 7                  | 6                  | 6                  |
| <b>Ergonomia</b>                                | 8                  | 8                  | 8                  |
| <b>Componentes comerciais</b>                   | 7                  | 10                 | 6                  |
| <b>Menor energia consumida</b>                  | 8                  | 5                  | 8                  |
| <b>Pontuação Total</b>                          | 97                 | 83                 | 87                 |
| <b>Percentagem de Satisfação</b>                | 80,83%             | 69,17%             | 72,50%             |

Fonte: própria autoria.

A percentagem de satisfação das concepções com relação a característica de projeto foi calculada a partir da fórmula:

$$PS = \frac{PT}{120} * 100$$

Em que *PS* é a percentagem de satisfação, *PT* é a pontuação total adquirida somando os pontos conseguidos para cada característica, 120 seria a pontuação total de uma concepção se a mesma tirasse 10 em tudo; e por fim, multiplicado por 100 para se ter o valor em porcentagem.

Verifica-se que dentre a maioria das características tais como ser leve, ser compacto, apresentar menos ruído, menor custo de manutenção e ser de mais fácil projeto, a escolha do came – seguidor é a mais viável como elemento para a função de selagem.

Conclui-se que a concepção 1 é a mais satisfatória em termos de compatibilidade, economia, projeto, uso e fabricação. Portanto a máquina seladora terá em sua composição: um came – seguidor, provavelmente um came de disco; um motoredutor; e uma esteira com travessas.

### 4.3. PROJETO PRELIMINAR

Os cálculos foram realizados numa dada sequência tendo início no dimensionamento da correia transportadora. A seguir estão dispostos o dimensionamento dos elementos essenciais da seladora.

#### 4.3.1. Correia Transportadora

As dimensões da correia foram selecionadas de acordo com as dimensões das embalagens para picolés vistas na metodologia. A embalagem padrão está mostrada na figura 62.

**Figura 63. Embalagens para picolés.**



**Fonte: foto tirada pelo autor.**

Foi escolhida uma correia transportadora lisa com travessas para melhor posicionamento e acomodação dos picolés na esteira possibilitando ao operador saber onde exatamente posicionar os picolés embalados.

Assim sendo os dados, as hipóteses iniciais de projeto e o sequenciamento de cálculo foram:

- Distância entre os eixos:  $L = 990mm$ .

- Massa dos picolés embalados variam entre 45 e 75g, podendo chegar no máximo a 80g;
- Massa das embalagens: desprezível.
- Capacidade desejada: 19200 picolés selados em um dia de trabalho, ou seja, 19200 picolés selados em 8h de funcionamento. Considerando uma massa de 100 g por picolé para se estabelecer segurança no dimensionamento tem-se que:

$$\frac{19200 \text{ picolés}}{8h} \rightarrow 2400 \text{ pic/h} \rightarrow 240000 \text{ g/h} \rightarrow 0,24 \text{ ton/h}$$

Portanto, a esteira deve ter capacidade de transportar 0,24 toneladas de picolés por hora.

- Densidade estimada de um picolé: 900 kg/m<sup>3</sup>. Este valor foi encontrado com base nas dimensões de diversas fôrmas de picolés e os mililitros contidos em cada picolé produzido, algumas delas estão apresentadas nas figuras 65 e 66. Depois chegou-se a este valor calculando-se a média. Por exemplo, um picolé de 75g fabricado na fôrma mais vendida no mercado, figura 64, cujas dimensões são 9,5cm x 4cm x 2cm produz um picolé com densidade estimada de:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{75g}{9,5 \cdot 4 \cdot 2 \text{ cm}^3} = 987 \text{ kg/m}^3$$

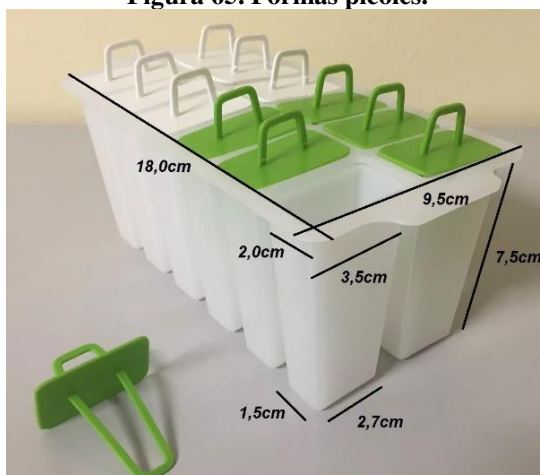
**Figura 64. Fôrma mais utilizada para fabricação de picolés.**



**Fonte: Irmãos Haluli<sup>42</sup>.**

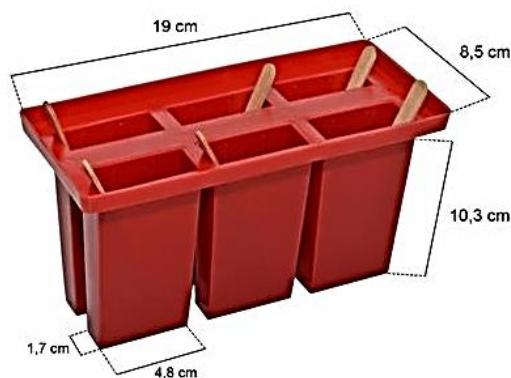
<sup>42</sup> Disponível em <<https://www.irmaoshaluli.com.br/forma-para-picole-tradicional-cabeca-quadrada-em-inox-com-28-cavidades-01und.html>>. Acessado em 14 de outubro de 2017.

**Figura 65. Fôrmas picolés.**



Fonte: Mercado Livre.<sup>43</sup>

**Figura 66. Fôrmas para paletas mexicanas.**



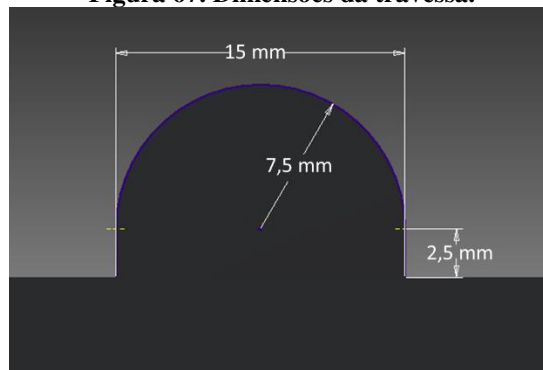
Fonte: Rakuten<sup>44</sup>.

- O comprimento das travessas é 165 mm, e as outras dimensões estão mostradas na figura 67.

<sup>43</sup> Disponível em <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-750731945-fabrica-picole-sorvete-forma-picole-picoleiteira-24-picoles-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-750731945-fabrica-picole-sorvete-forma-picole-picoleiteira-24-picoles-_JM)>. Acessado em 14 de outubro de 2017.

<sup>44</sup> Disponível em <<https://blackapron.produto.rakuten.com.br/forma-para-picole-caseira-paleta-mexicana-6-picoles.aspx>>. Acessado em 14 de outubro de 2017

**Figura 67. Dimensões da travessa.**



Fonte: autoria própria.

- Espessura da correia: 5mm, selecionada com base nas esteiras comerciais para serviços semelhantes.
- Tomando como base as dimensões das embalagens, área entre as travessas para acomodação dos picolés apresenta as dimensões: 75mm x 190mm, conforma a figura 68.

**Figura 68. Área de acomodação dos picolés embalados.**



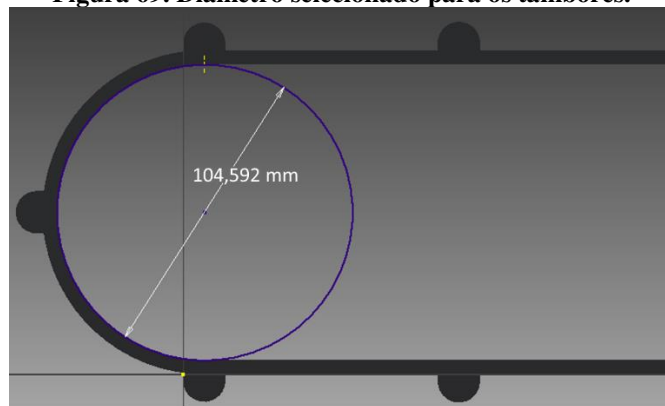
Fonte: autoria própria.

- De acordo com o passo anterior, tem-se a largura da correia como sendo 190 mm.
- Para facilitar o projeto e o esboço do mesmo, o diâmetro dos tambores selecionado foi: 104,592 mm, calculado considerando que a cada meia volta do tambor, um picolé é transportado, figura 69.

$$\frac{\pi}{2} \cdot r = 90 \text{ mm} \rightarrow r = 57,296 \text{ mm} \rightarrow d = 2 \cdot (r - e) \rightarrow d = 104,592 \text{ mm}$$

Onde  $e$  é a espessura da esteira:  $e = 5 \text{ mm}$ .

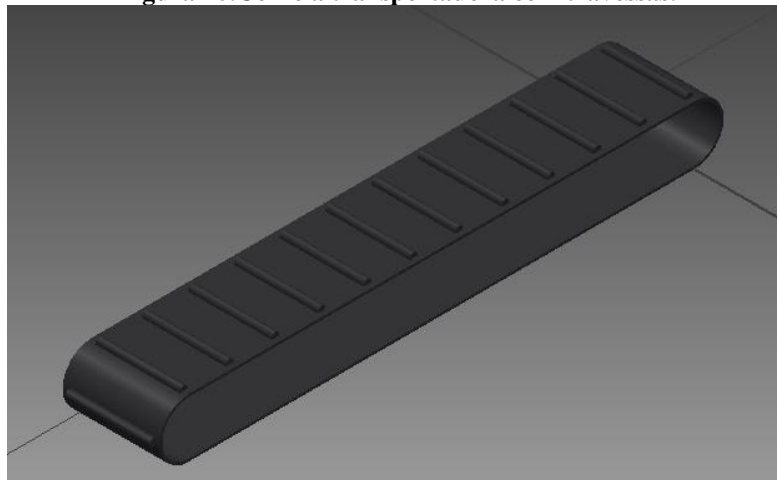
**Figura 69. Diâmetro selecionado para os tambores.**



**Fonte: autoria própria.**

- Ângulo de repouso da correia transportadora:  $0^\circ$ , ângulo de acomodação do material transportado:  $\rho = 0^\circ$  e ângulo de inclinação da esteira:  $\delta = 0^\circ$ , pois o material é transportado apenas na horizontal
- A figura 70 apresenta a correia e as travessas. O projeto completo é o apêndice A.1 deste trabalho.

**Figura 70. Correia transportadora com travessas.**



**Fonte: autoria própria.**

- Velocidade da esteira: se observado o apêndice A.1 ou a figura 70, verifica-se que cabe 11 picolés em cima a mesma, ou seja, em 1000 mm de esteira tem-se 11 picolés e deseja-se selar 40 *pic/min* e ter-se um picolé selado por vez, logo,

$$11 \text{ picolés} \rightarrow 1 \text{ m}$$

$$40 \text{ picolés} \rightarrow \text{distância percorrida?}$$

Resolvendo por regra de três, tem-se que a esteira deverá percorrer uma distância de  $40/11 \cong 3,6364 \text{ m}$  em 1 *min*, portanto a velocidade da esteira deve ser:

$$V = \frac{3,6364m}{1 \text{ min}} \cong 0,0606 \text{ m/s}$$

- De acordo com a NBR 8011, calcula-se a velocidade máxima que a esteira dimensionada pode ter acessando-se a tabela 9 com o tipo de material a ser transportado e a largura da correia.

**Tabela 9. Velocidades máximas recomendadas.**

| Material transportado                                                                                              | Largura da correia (mm) | Velocidade da correia (m/s) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Cereais e outros materiais não-abrasivos, de muito fácil acomodação                                                | 400 - 500               | 2,5                         |
|                                                                                                                    | 600 - 650               | 3,5                         |
|                                                                                                                    | 800 - 1000              | 4,0                         |
|                                                                                                                    | 1200 - 3000             | 5,0                         |
| Carvão mineral, terra, minérios moles, pedra britada fina e material abrasivo                                      | 400 - 500               | 2,0                         |
|                                                                                                                    | 600 - 800               | 3,0                         |
|                                                                                                                    | 1000 - 1600             | 4,0                         |
|                                                                                                                    | 1800 - 3000             | 5,0                         |
| Minérios pontiagudos e pesados, pedra britada grossa e material muito abrasivo                                     | 400 - 500               | 1,75                        |
|                                                                                                                    | 600 - 1000              | 2,5                         |
|                                                                                                                    | > 1000                  | 4,0                         |
| Areia de fundição usada ou úmida, com ou sem inclusões metálicas, a temperaturas que não danifiquem a correia      | qualquer                | 1,75                        |
| Areia de fundição usada, materiais similares úmidos (ou abrasivos secos), descarregados da correia por desviadores | qualquer                | 1,0                         |
| Materiais não-abrasivos, descarregados da correia por desviadores                                                  | qualquer                | 1,0                         |
| Polpa de madeira, descarregada da correia por desviadores                                                          | qualquer                | 2,0                         |
| Materiais finos não-abrasivos ou poucos abrasivos em alimentadores de correia                                      | qualquer                | 0,5                         |
| Materiais finos abrasivos em alimentadores de correia                                                              | qualquer                | 0,25                        |

Fonte: NBR 8011.

A situação em questão se encaixa no primeiro item da tabela 9 já que se trata de um material não abrasivo e de fácil acomodação. Realizando uma extrapolação pode-se chegar a um valor aproximado para a velocidade máxima da correia que foi selecionada.

$$190 \text{ mm} \rightarrow ?$$

$$400 \text{ mm} \rightarrow 2,5 \text{ m/s}$$

$$600 \text{ mm} \rightarrow 3,5 \text{ m/s}$$

Portanto a velocidade máxima recomendada é  $1,45 \text{ m/s}$ . Outro fator que pode ser observado é que a velocidade desejada ( $0,0606 \text{ m/s}$ ) é menor que a máxima velocidade recomendada pela norma.

Se a extrapolação for feita como os outros extremos como mostrado abaixo, tem-se que a velocidade máxima recomenda é aproximadamente  $0,5 \text{ m/s}$ , valor continua sendo maior que a velocidade desejada.

$$\begin{aligned} 190 \text{ mm} &\rightarrow ? \\ 500 \text{ mm} &\rightarrow 2,5 \text{ m/s} \\ 650 \text{ mm} &\rightarrow 3,5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Portanto toma-se como velocidade máxima recomendada:  $0,5 \text{ m/s}$ .

- O cálculo da capacidade máxima da esteira, assim como a velocidade, está associado a largura da correia, percebendo-se ao observar as normas que a espessura da correia não é levada em consideração. Assim sendo, segundo a seção 5.2 da NBR 8011, procede-se a seguir o cálculo da capacidade máxima da correia em questão:

$$Q = 3600 \cdot A \cdot V_{max} \cdot d$$

Em que:  $Q$  é a capacidade máxima em  $\text{ton/h}$ ;  $A$  é a área da seção da transversal do material calcula como sendo a base vezes a altura do picolé posicionado na esteira em  $\text{m}^2$ ;  $V_{max}$  é a velocidade máxima; e  $d$  é a densidade do material transportado em  $\text{ton/m}^3$ . Utilizando as dimensões  $9,5\text{cm} \times 4\text{cm} \times 2\text{cm}$  do picolé produzido pela fôrma mais utilizada, figura 64, tem-se:

$$A = 4 \text{ cm} \cdot 2\text{cm} = 8 \text{ cm}^2 = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$Q_{max} = 3600 \cdot 0,0008 \cdot 0,5 \cdot 0,9$$

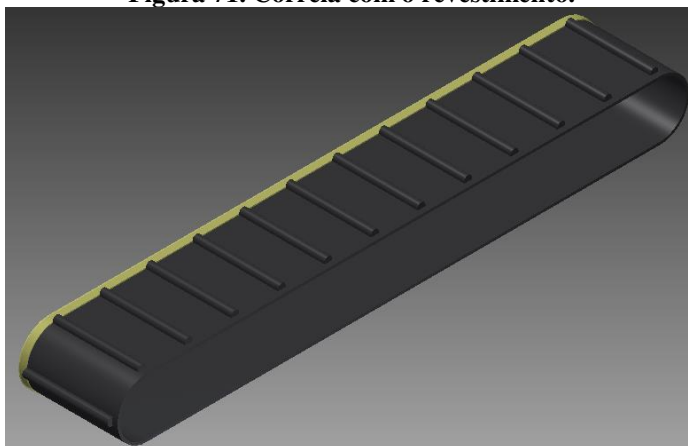
$$Q_{max} = 1,296 \text{ ton/h}$$

Observa-se que a capacidade requerida para o projeto é bem menor que capacidade máxima calculada de acordo com a NBR 8011, portanto tem-se mais um critério satisfeito.

#### 4.3.2. Revestimento

Em geral, toda a correia pode ser revestida conforme a necessidade, mas a fim de diminuir o custo de fabricação do projeto, apenas a de ser colocado revestimento nas dimensões necessárias. A figura 71 mostra a correia transportadora com o revestimento de  $2 \text{ mm}$  de espessura, largura de  $15 \text{ mm}$ , já que a largura de selagem das embalagens é de no máximo  $10 \text{ mm}$  e as outras dimensões conforme as da esteira.

**Figura 71. Correia com o revestimento.**

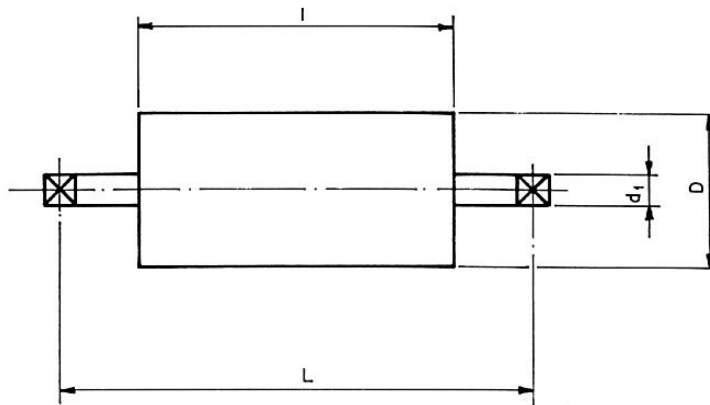


Fonte: autoria própria.

### 4.3.3. Tambores

Como já decidido anteriormente os tambores apresentam diâmetro de  $D = 104,592 \text{ mm}$ . Mas atrelado ao dimensionamento dos tambores está a seleção do diâmetro dos eixos que estarão passando por um mancal e, no caso do tambor de carga, conectado ao motor. Tal seleção é dada de acordo com a NBR 6172 que apresentam como básicas as dimensões mostradas na figura 72.

**Figura 72. Dimensões básicas dos tambores.**



Fonte: NBR 6172.

Observa uma certa tendência na tabela 10: o valor de  $l$  é  $100 \text{ mm}$  a mais da largura da correia. Como a correia em questão tem  $190 \text{ mm}$  de largura, tem-se  $l = 290 \text{ mm}$ .

Tabela 10. Comprimentos normalizados de tambores (l) em mm.

| Largura da correia | l    | Largura da correia | l    |
|--------------------|------|--------------------|------|
| 400                | 500  | 1600               | 1800 |
| 500                | 600  | 1800               | 2000 |
| 600                | 700  | 2000               | 2200 |
| 650                | 750  | 2200               | 2500 |
| 800                | 950  | 2400               | 2700 |
| 1000               | 1150 | 2600               | 2900 |
| 1200               | 1400 | 2800               | 3100 |
| 1400               | 1600 | 3000               | 3300 |

Fonte: NBR 6172.

Já a dimensão  $L$  é selecionada de acordo com a tabela 11 que também segue uma certa tendência:  $L$  é mais ou menos o dobro da largura da correia, mas pode ser encontrado através de uma extrapolação considerando a série reduzida. A série reduzida, segundo as descrições da NBR 6172 atende a essa aplicação. Assim sendo, o valor para  $L$  considerando 190 mm de largura de correia é  $L = 519 \text{ mm}$

Tabela 11. Centro a centro normalizado de mancais (L) em mm.

| Largura da correia | Série    |          | Largura da correia | Série    |          |
|--------------------|----------|----------|--------------------|----------|----------|
|                    | Completa | Reduzida |                    | Completa | Reduzida |
| 400                | 800      | 750      | 1600               | 2400     | 2160     |
| 500                | 900      | 860      | 1800               | 2600     | 2360     |
| 600                | 1100     | 970      | 2000               | 2800     | -        |
| 650                | 1150     | 1020     | 2200               | 3200     | -        |
| 800                | 1350     | 1260     | 2400               | 3400     | -        |
| 1000               | 1600     | 1480     | 2600               | 3700     | -        |
| 1200               | 1900     | 1760     | 2800               | -        | -        |
| 1400               | 2100     | 1960     | 3000               | -        | -        |

Fonte: NBR 6172.

De acordo com a NBR 6172, observando a tabela 12, o menor diâmetro normalizado no eixo no mancal ( $d_1$ ) é 40 mm.

**Tabela 12. Diâmetros normalizados no eixo no mancal ( $d_1$ )**

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 125 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 |
| 260 | 280 | 300 | 320 | 340 | 360 | 380 | 400 | 430 | 450 | 470 | 500 | 530 | 560 | -   |

Fonte: NBR 6172.

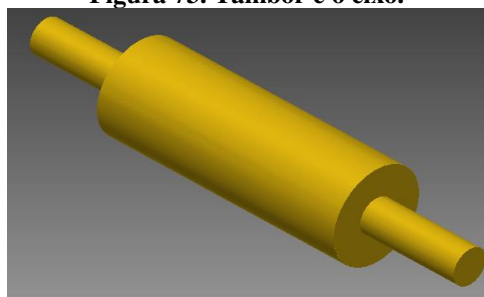
A espessura mínima do cilindro segundo a NBR 6172 é no mínimo 4 mm, tabela 13.

**Tabela 13. Espessura mínima do cilindro em mm.**

| Diâmetro do cilindro | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2250 | 2500 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Espessura            | 4   | 4   | 5   | 5   | 6   | 6   | 8   | 10   | 10   | 12   | 12   | 12   | 16   | 16   | 20   |

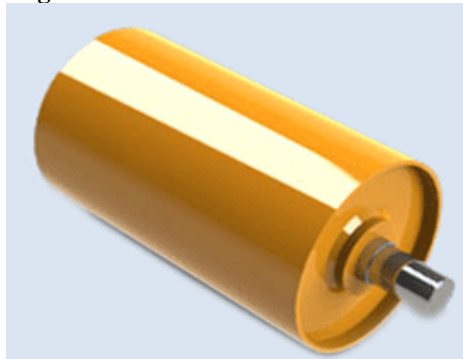
Fonte: NBR 6172.

O tambor, juntamente com o eixo, está mostrado na figura 73.

**Figura 73. Tambor e o eixo.**

Fonte: autoria própria.

O tambor livre não necessita de revestimento, é liso assim como o tambor apresentado na figura 74.

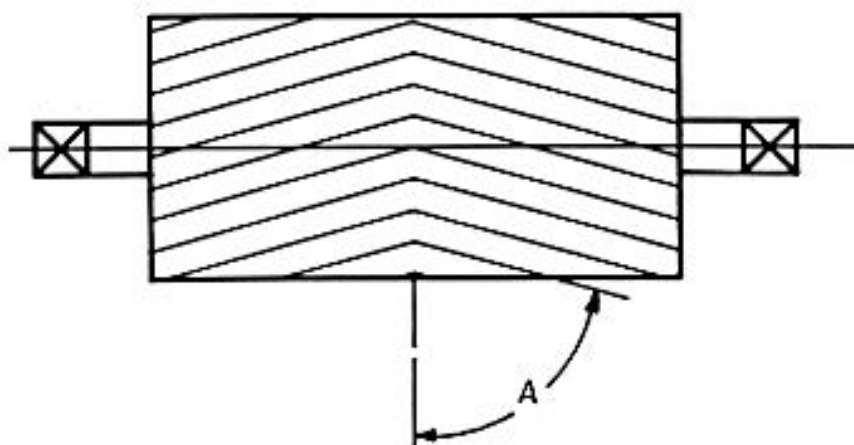
**Figura 74. Tambores sem revestimento.**

Fonte: Camax do Brasil<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> Disponível em <<http://www.camaxdobrasil.com.br/produtos/?prod=103&produto=tambores-de-retorno>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

Quanto ao tambor de acionamento, a NBR 6172 recomenda que este seja revestido de borracha ou algum outro material citado na norma, para aumentar o coeficiente de atrito entre a correia e o tambor. Portanto o revestimento escolhido é o de borracha do tipo espinha-de-peixe já que a esteira só opera em um sentido. O revestimento tipo espinha-de-peixe está representado nas figuras 75 e 76.

**Figura 75. Revestimento tipo espinha-de-peixe.**



Fonte: NBR 6172.

**Figura 76. Tambor revestido com borracha.**



Fonte: Soluções Industriais<sup>46</sup>.

As dimensões do revestimento devem ser abordadas com o fabricante, mas recomenda-se para o diâmetro de tambor escolhido que a espessura do revestimento seja no máximo

---

<sup>46</sup> Disponível em <<http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/metal-mecanica-e-usinagem/ht-usinagem/produtos/movimentacao-e-armazenagem/roletes-para-esteira-transportadora>>. Acessado em 15 de outubro e 2017.

10 mm. Na figura 77 tem-se uma representação do tambor de acionamento junto com o seu eixo.

**Figura 77. Tambor de acionamento e o eixo.**



**Fonte: autoria própria.**

Quanto a velocidade angular dos tambores, sabendo que  $r$  é o raio do tambor e  $V$  é a velocidade da esteira, tem-se que:

$$V = \omega \cdot r \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{V}{r} = \frac{0,0606}{\frac{104,592 \cdot 10^{-3}}{2}} \quad \rightarrow \quad \omega \cong 1,1589 \text{ rad/s}$$

$$\omega \cong 1,1589 \text{ rad/s} = 11,0667 \text{ rpm}$$

#### 4.3.4. Roletes

Em geral, as esteiras transportadoras possuem roletes como por exemplo a figura 78, roletes que segundo a NBR 6177 podem ser planos, duplos e triplos e possuem funções como comportar diferentes tipos de seções transversais de matérias, guiar a correia, podem também inverter a correia, etc.

**Figura 78. Esteira como roletes triplos.**



**Fonte: Terra Nova Distribuidora<sup>47</sup>.**

<sup>47</sup> Disponível em <<http://www.terranovadistribuidora.com.br/imagens/informacoes/correia-esteira-transportadora-01.jpg>>. Acessado em 15 de outubro e 2017.

Contudo a NBR 6678 trata da necessidade de roletes em esteiras com correias de largura a partir de 400 *mm*. Entretanto pode-se chegar a algum resultado relativo a largura da correia do projeto.

**Tabela 14. Distância entre apoios do rolete. Dimensões em milímetros.**

| <b>Correia</b> | <b>A</b> | <b>Correia</b> | <b>A</b> |
|----------------|----------|----------------|----------|
| 400            | 610      | 1 600          | 2 000    |
| 500            | 710      | 1 800          | 2 200    |
| 600            | 840      | 2 000          | 2 400    |
| 650            | 890      | 2 200          | 2 700    |
| 800            | 1 090    | 2 400          | 3 000    |
| 1 000          | 1 290    | 2 600          | 3 200    |
| 1 200          | 1 540    | 2 800          | 3 350    |
| 1 400          | 1 740    | 3 000          | 3 550    |

**Fonte: NBR 6678.**

Uma correia com 400 *mm* de largura deve apresentar 610 *mm* de distância entre os roletes. Realizando uma interpolação com os dois primeiros dados da tabela 14, tem-se que a distância entre os apoios do rolete deve ser de 400 *mm*.

Considerando então o comprimento da correia, um rolete de retorno e um rolete de carga é satisfatório, um rolete a mais o faria ficar muito próximo de algum dos tambores.

O diâmetro dos rolos que compõem os roletes é dado na tabela 15. Verifica-se que o rolo de menor diâmetro é da série 15, cujo diâmetro de rolo selecionado é 75 *mm*, lembrando que assim como esteira, os roletes são planos.

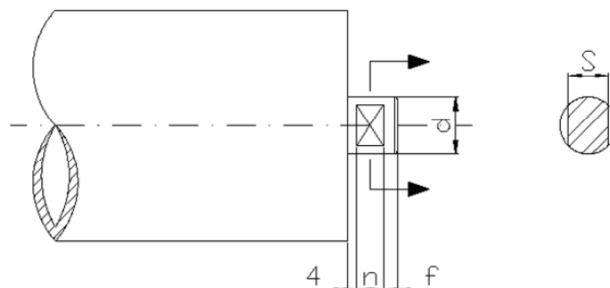
Tabela 15. Classificação.

|                       | Série<br>mm | Correia<br>mm | Diâmetro rolo<br>mm |           | Rolete | Ângulo de Inclinação |
|-----------------------|-------------|---------------|---------------------|-----------|--------|----------------------|
|                       |             |               | Aço                 | Borracha  |        |                      |
| Carga inclinado       | 15          | 400 e 500     | 75 e 100            | 100       | Duplo  | 20°                  |
|                       |             | 600 a 800     |                     |           | Triplo | 20° e 35°            |
|                       | 20          | 600 a 1 800   | 100 e 127           | 100 e 127 | Triplo | 20° e 35°            |
|                       | 25          | 1 000 a 2 000 | 127 e 152           | 127 e 152 | Triplo | 20°, 35° e 45°       |
|                       | 30          | 1 200 a 2 200 | 152 e 165           | 152 e 165 | Triplo | 35° e 45°            |
|                       | 40 / 45     | 1 400 a 2 400 | 165 e 178           | 165 e 178 | Triplo | 35° e 45°            |
| Carga e retorno plano | 50          | 1 800 a 3 000 | 178 e 203           | 194 e 219 | Triplo | 35° e 45°            |
|                       | 15          | 400 a 800     | 75 e 100            | 100       | Plano  | 0°                   |
|                       | 20          | 600 a 1 400   | 100 e 127           | 100 e 127 | Plano  | 0°                   |
|                       | 25          | 1 000 a 1 800 | 127 e 152           | 127 e 152 | Plano  | 0°                   |
|                       | 30          | 1 200 a 2 000 | 152 e 165           | 152 e 165 | Plano  | 0°                   |
|                       | 40 / 45     | 1 400 a 2 000 | 165 e 178           | 165 e 178 | Plano  | 0°                   |
| Retorno duplo         | 50          | 1 800 a 2 000 | 178 e 203           | 194 e 219 | Plano  | 0°                   |
|                       | 20          | 800 a 2 000   | 100 e 127           | 100 e 127 | Duplo  | 10°                  |
|                       | 25          | 1 000 a 2 200 | 127 e 152           | 127 e 152 | Duplo  | 10°                  |
|                       | 30          | 1 200 a 2 600 | 152 e 165           | 152 e 165 | Duplo  | 10°                  |
|                       | 40 / 45     | 1 400 a 3 000 | 165 e 178           | 165 e 178 | Duplo  | 10°                  |
|                       | 50          | 1 800 a 3 000 | 178 e 203           | 194 e 219 | Duplo  | 10°                  |

Fonte: NBR 6678.

Ainda relacionado aos roletes, tem-se ainda as dimensões das pontas de eixo dos rolos, também conforme a NBR 6678, figura 79.

Figura 79. Ponto do eixo dos rolos.



Fonte: NBR 6678.

As dimensões da figura 79 são dadas na tabela 16. Como se trata da série 15 tem-se:  $d = 15\text{ mm}$ ,  $n = 9\text{ mm}$ ,  $F = 4\text{ mm}$  e  $s = 12\text{ mm}$ .

**Tabela 16. Dimensões das pontas de eixo dos rolos em mm.**

| Série<br>d | n  | F | s  |
|------------|----|---|----|
| 15         | 9  | 4 | 12 |
| 20         | 9  | 4 | 14 |
| 25         | 12 | 6 | 18 |
| 30         | 12 | 6 | 22 |
| 40/45      | 12 | 8 | 32 |
| 50         | 12 | 8 | 42 |
| 60         | 12 | 8 | 52 |

Fonte: NBR 6678.

O comprimento dos rolos é dado de acordo com a tabela 17. Novamente se faz necessário interpolar para se chegar a um resultado que esteja de acordo. Então tendo que o comprimento da correia é 190 mm, rolete com um rolo tem-se que o comprimento do mesmo é 290 mm, ou seja, o mesmo comprimento dos tambores.

**Tabela 17. Comprimento dos rolos em mm.**

| Correia | Carga |        | Retorno |         | Correia | Carga Triplo | Retorno |         |
|---------|-------|--------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|
|         | Duplo | Triplo | 1 rolo  | 2 rolos |         |              | 1 rolo  | 2 rolos |
| 400     | 250   | -      | 500     | -       | 1 600   | 600          | 1 800   | 900     |
| 500     | 315   | -      | 600     | -       | 1 800   | 670          | 2 000   | 950     |
| 600     | -     | 235    | 700     | -       | 2 000   | 750          | 2 200   | 1 050   |
| 650     | -     | 250    | 750     | -       | 2 200   | 800          | -       | 1 150   |
| 800     | -     | 315    | 950     | 465     | 2 400   | 900          | -       | 1 400   |
| 1 000   | -     | 380    | 1 150   | 600     | 2 600   | 950          | -       | 1 400   |
| 1 200   | -     | 465    | 1 400   | 670     | 2 800   | 1 050        | -       | 1 600   |
| 1 400   | -     | 530    | 1 600   | 800     | 3 000   | 1 120        | -       | 1 600   |

Fonte: NBR 6678.

A representação do rolete está disposta na figura 79. Este também será liso sem revestimento.

**Figura 80. Rolete.**

Fonte: autoria própria.

A velocidade dos roletes também pode ser calculada com o auxílio da NBR 6678.

Tabela 18. Velocidade de rotação do rolo (rpm)

| Correia (m/s) \ Rolo | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0  | 4,5  | 5,0  | 5,5  | 6,0  |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 75                   | 127 | 255 | 382 | 509 | 637 | 764 | 891 | 1019 | 1146 | 1273 | 1401 | 1528 |
| 100                  | 95  | 191 | 286 | 382 | 477 | 573 | 668 | 746  | 859  | 955  | 1050 | 1146 |
| 127                  | 75  | 150 | 226 | 301 | 376 | 451 | 526 | 602  | 677  | 752  | 827  | 902  |
| 152                  | 63  | 126 | 188 | 251 | 314 | 377 | 440 | 503  | 565  | 628  | 691  | 754  |
| 165                  | 58  | 116 | 174 | 231 | 289 | 347 | 405 | 463  | 521  | 579  | 637  | 694  |
| 178                  | 54  | 107 | 161 | 215 | 268 | 322 | 376 | 429  | 483  | 536  | 590  | 644  |
| 203                  | 47  | 94  | 141 | 188 | 235 | 282 | 329 | 376  | 423  | 470  | 517  | 564  |
| 219                  | 44  | 87  | 131 | 174 | 218 | 262 | 305 | 349  | 392  | 436  | 480  | 523  |

Fonte: NBR 6678.

Para um rolo de 75 mm, acessando a tabela com a velocidade máxima da correia que fora calcula anteriormente como sendo 0,5 m/s, tem-se a velocidade de rotação do rolo como sendo 127 rpm. Agora calculando de fato a rotação dos rolos para comparar com a máxima permitida, tem-se:

$$V = \omega \cdot r \rightarrow V_{\text{correia}} = \omega_{\text{rolete}} \cdot r_{\text{rolete}}$$

$$0,0606 = \omega \cdot \left( \frac{0,075}{2} \right) \rightarrow \omega = 1,6162 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 1,6162 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 15,4332 \text{ rpm}$$

Assim sendo, tem-se mais um critério seguro já que a velocidade de rotação é bem menor que a máxima.

#### 4.3.5. Motor

Para seleção adequado motor ou motorreductor para a esteira, é utilizado o manual da empresa FAÇO para transportadores de correias cuja potência efetiva necessária ( $N_e$ ) para o transporte do material é calculada pela forma:

$$N_e = V(N_v + N_g) + \frac{Q}{100} \cdot (N_1 \pm N_h)$$

Em que:

$V$ : velocidade da esteira em m/s;

$N_v$ : potência (hp) para acionar o transportador vazio a uma velocidade de 1 m/s, tabela 19;

$N_g$ : potência (hp) para vencer o atrito das guias laterais à uma velocidade de 1 m/s, tabela 23;

$Q$ : capacidade em  $ton/h$ ;

$N_1$ : potência ( $hp$ ) para deslocar  $100 ton/h$  de um material de uma distância  $L$  na horizontal, tabela 22;

$N_h$ : potência ( $hp$ ) para elevar ou descer  $100 ton/h$  de material de uma altura  $h$ .

Para encontrar  $N_v$  de acordo com os dados tabela 19 monta-se a tabela 20 verificando-se que três extrapolações são necessárias: a primeira extrapolação é para encontrar o valor de potência para um comprimento de  $0,990 m$  e a largura  $16''$  que é  $0,1898 hp$ ; a segunda é para encontrar o valor de potência para um comprimento de  $0,990 m$  e a largura  $20''$  que é  $0,2698 hp$ ; e a terceira extrapolação conforme a tabela 21.

Tabela 19. Potência  $N_v$  ( $hp$ ) para acionar o transportador vazio a  $1 m/s$ .

| Largura da Correia (B) | Comprimento do Transportador = L (m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 10                                   | 15   | 20   | 25   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  |
| 16"                    | 0,37                                 | 0,47 | 0,54 | 0,61 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,01 | 1,10 | 1,20 | 1,31 | 1,42 | 1,53 |
| 20"                    | 0,45                                 | 0,55 | 0,64 | 0,72 | 0,81 | 0,95 | 1,09 | 1,20 | 1,32 | 1,43 | 1,54 | 1,67 | 1,80 |
| 24"                    | 0,57                                 | 0,70 | 0,83 | 0,91 | 1,01 | 1,20 | 1,33 | 1,52 | 1,67 | 1,80 | 1,92 | 2,06 | 2,19 |
| 30"                    | 0,69                                 | 0,81 | 0,97 | 1,10 | 1,22 | 1,44 | 1,66 | 1,83 | 2,04 | 2,19 | 2,39 | 2,55 | 2,71 |
| 36"                    | 0,75                                 | 0,94 | 1,08 | 1,23 | 1,35 | 1,58 | 1,80 | 2,03 | 2,24 | 2,45 | 2,64 | 2,84 | 3,03 |
| 42"                    | 0,85                                 | 1,01 | 1,22 | 1,39 | 1,54 | 1,80 | 2,04 | 2,28 | 2,52 | 2,76 | 2,95 | 3,17 | 3,38 |
| 48"                    | 1,02                                 | 1,20 | 1,32 | 1,64 | 1,80 | 2,13 | 2,40 | 2,71 | 2,98 | 3,23 | 3,48 | 3,74 | 4,00 |

Fonte: FAÇO.

Tabela 20. Cálculo do  $N_v$ .

| Largura da Correia | Comprimento do transportador (m) |         |         |
|--------------------|----------------------------------|---------|---------|
|                    | 0,990 m                          | 10 m    | 15 m    |
| 190 mm             | ?                                |         |         |
| 16" (406,4 mm)     | ?                                | 0,37 hp | 0,47 hp |
| 20" (508 mm)       | ?                                | 0,45 hp | 0,55 hp |

Fonte: autoria própria.

Tabela 21. Cálculo da potência  $N_v$  para uma correia com  $190 mm$  de largura e  $0,990 m$  de comprimento.

| Largura da Correia | Comprimento do transportador (m) |
|--------------------|----------------------------------|
|                    | 0,990 m                          |
| 190 mm             | ?                                |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>16'' (406,4 mm)</b> | 0,1898 hp |
| <b>20'' (508 mm)</b>   | 0,2698 hp |

Fonte: autoria própria.

Assim sendo,  $N_v = 0,0194 \text{ hp}$ .

Para encontra a potência  $N_1$  se utiliza a tabela 22, que também por meio de uma interpolação tem-se que para um comprimento de 0,990 m,  $N_1 = 0,2657 \text{ hp}$ .

**Tabela 22. Potência para deslocar 100 ton/h de material em um comprimento  $L$  (m) na horizontal.**

| <b>L (m)</b>   | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>30</b> | <b>40</b> | <b>50</b> | <b>60</b> | <b>70</b> | <b>80</b> | <b>90</b> | <b>100</b> | <b>110</b> |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>N1 (HP)</b> | 0,50      | 0,63      | 0,74      | 0,81      | 0,95      | 1,11      | 1,25      | 1,42      | 1,50      | 1,64      | 1,75      | 1,87       | 2,05       |

Fonte: FAÇO.

A potência  $N_h$  é igual zero já que não há transporte de material na vertical, portanto  $N_h = 0$ .

Para encontra a potência  $N_g$  se utiliza a tabela 23, que também por meio de uma interpolação tem-se que para um comprimento de guia de 1 m,  $N_g = 0,072 \text{ hp}$ .

**Tabela 23. Potência para vencer o atrito das guias laterais a 1 m/s.**

| <b>Compr. das Guias (m)</b> | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> | <b>25</b> | <b>30</b> | <b>35</b> | <b>40</b> | <b>45</b> | <b>50</b> | <b>55</b> | <b>60</b> | <b>65</b> | <b>70</b> |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Ng (HP)</b>              | 0,60     | 1,26      | 2,52      | 3,18      | 3,84      | 4,56      | 5,28      | 6,00      | 6,72      | 7,38      | 8,10      | 8,88      | 9,60      |

Fonte: FAÇO.

Substituindo os valores calculados na equação tem-se:

$$N_e = 0,0606 \cdot (0,0194 + 0,072) + \frac{0,24}{100} \cdot (0,2657 \pm 0)$$

$$N_e = 6,177 \cdot 10^{-3} \text{ hp}$$

Agora, para seleção do motor deve-se levar em consideração a eficiência conforme a tabela 24. Considerando que a redução é simples em redutores de engrenagens helicoidais ou tipo espinha-de-peixe em motorredutores tem-se a tabela 24 a eficiência  $\eta = 0,95$ . Portanto a potência do motor deve ser:

$$N_{motor} = \frac{N_e}{\eta} = 6,502 \cdot 10^{-3} \text{ hp} = 6,593 \cdot 10^{-3} \text{ cv} = 4,849 \text{ w}$$

Tabela 24. Eficiência para seleção do motor.

| Transmissão                                                                                              | Eficiência ( $\eta$ ) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Correias V e polias.....                                                                                 | 0,94                  |
| Corrente e rodas dentadas - s/ caixa de óleo .....                                                       | 0,93                  |
| Corrente e rodas dentadas - c/ caixa de óleo .....                                                       | 0,95                  |
| Redução simples em redutores de engrenagens helicoidais ou tipo espinha de peixe em moto-redutores ..... | 0,95                  |
| Redução dupla, idem .....                                                                                | 0,94                  |
| Redução tripla, idem .....                                                                               | 0,93                  |
| Redução dupla em redutores "shaft-mounted" de engrenagens helicoidais .....                              | 0,94                  |
| Redutores de rosca sem fim com redução até 20:1 .....                                                    | 0,90                  |
| Idem de 20:1 a 60:1 .....                                                                                | 0,70                  |
| Idem de 60:1 a 100:1 .....                                                                               | 0,50                  |
| Acoplamentos hidráulicos .....                                                                           | 0,96 - 0,98           |
| Queda de voltagem .....                                                                                  | 0,90 - 0,95           |

Fonte: FAÇO.

Tem-se que o menor motor comercial em termos de potência é o de 0,16 cv, satisfatório a aplicação. Segundo o manual da FAÇO, os motores utilizados para acionamento do transportador deve ser do tipo de rotor gaiola totalmente fechado com ventilação externa (TFVE), com torque de partida normal e isolamento classe B. Para mais informações, consulte o manual.

A melhor escolha de motor é o motor elétrico trifásico de alto rendimento, pois o mesmo foi projetado para minimizar o consumo de energia, isto é, a relação energia elétrica energia mecânica (potência no eixo) é maior.

A redução requerida para o redutor de velocidade depende de quantos polos tem o motor, o número de polos pode ser: 2, 4, 6, 8, 10, até 24 polos, quanto mais polos, menor a rotação em *rpm* do motor e menor a redução a ser efetuada pelo redutor. Para transportadores recomenda-se que seja um motor com no mínimo 4 polos. Tendo que a frequência da rede é  $f = 60\text{Hz}$  e se for escolhido um motor com 4 polos a rotação do campo síncrono no estator é:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 60}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

Algumas rotações conforme o número de polos estão apresentadas na tabela 25.

Tabela 25. Velocidades síncronas para diferentes polos.

| Nº de polos | Rotação síncrona por minuto |      |
|-------------|-----------------------------|------|
|             | 60 Hz                       | 50Hz |
| 2           | 3600                        | 3000 |
| 4           | 1800                        | 1500 |
| 6           | 1200                        | 1000 |
| 8           | 900                         | 750  |

Fonte: Catálogo WEG<sup>48</sup>.

Assim a redução requerida para o redutor será 162,65 : 1 pois:

$$\frac{\text{rotação do motor}}{\text{rotação do tambor}} = \frac{1800 \text{ rpm}}{11,0667 \text{ rpm}} = 162,65 : 1$$

Dentre os motores do catálogo WEG que podem atender a aplicação serão citados dois: o motor para redutor tipo 1 e o motor trifásico alto rendimento plus. Ambos, dentre outros atendem as necessidades. Serão citadas no projeto algumas características, as demais podem ser encontradas no catálogo<sup>49</sup>.

#### 4.3.6. Came

Para o dimensionamento do perfil do came tomou como diâmetro de circunferência base 60 mm. Decretou-se o movimento requerido para o seguidor para dar embasamento ao dimensionamento:

- 0° – 45°: repouso;
- 45° – 180°: elevação;
- 180° – 315°: retorno;
- 315° – 360°: repouso.

Quanto a função que define o movimento selecionou-se:

- Elevação: MC.
- Retorno: MHS.

Conforme o referencial teórico tem-se:

- Raio mínimo do came (raio de circunferência base):  $R_m = 30 \text{ mm}$
- Escolha: seguidor de face plana, portanto  $R_0 = R_m$
- Elevação/descida:  $L = 40 \text{ mm}$ .
- Sentido de giro da came: horário.

<sup>48</sup> Disponível em <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<sup>49</sup> Disponível em <[http://gerson.luqueta.com.br/index\\_arquivos/motoresWEG.pdf](http://gerson.luqueta.com.br/index_arquivos/motoresWEG.pdf)>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

- Elevação: MC:

$$45^\circ - 180^\circ \rightarrow \beta = 135^\circ$$

$$\frac{L}{R_0} = \frac{40}{30} = 1,333$$

Com esses dois valores acessa-se o nomograma para determinação do ângulo máximo de pressão:  $\alpha_{max} = 35^\circ$ .

- Retorno: MHS:

$$180^\circ - 315^\circ \rightarrow \beta = 135^\circ$$

$$\frac{L}{R_0} = \frac{40}{30} = 1,333$$

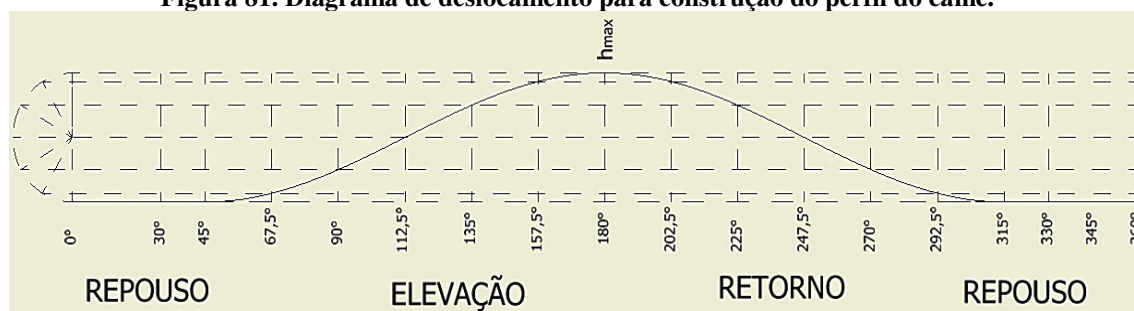
Com esses dois valores acessa-se o nomograma para determinação do ângulo máximo de pressão:  $\alpha_{max} = 30^\circ$ .

Como recomendado, os ângulos máximos de pressão são menores ou iguais a  $35^\circ$ . Com isso segue-se para a próxima etapa de construir o diagrama de deslocamento dividindo cada intervalo (elevação e retorno) em 6 pontos de traçados como abordado no referencial teórico.

- Elevação: MC,  $45^\circ - 180^\circ$ , 6 pontos de traçado.
- Retorno: MHS,  $180^\circ - 315^\circ$ , 6 pontos de traçado.

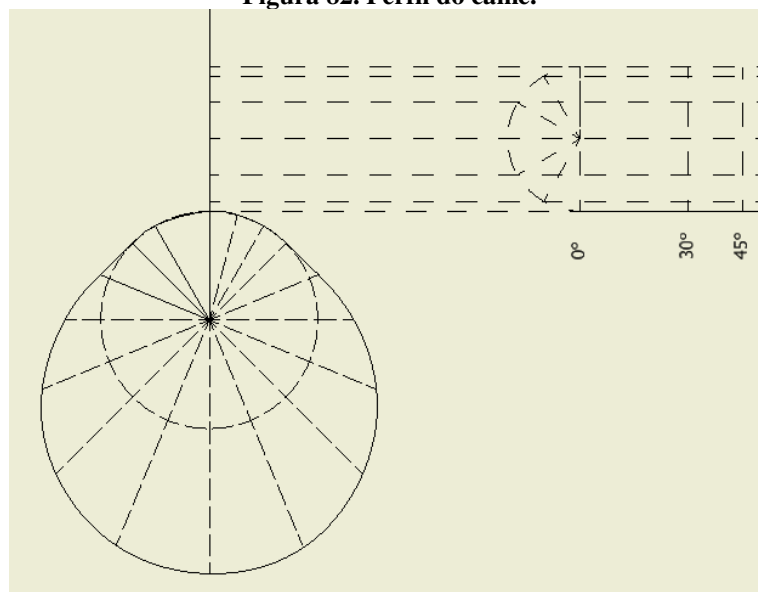
Tem-se no total, 18 pontos de traçado e o diagrama de deslocamento está mostrado na figura 81. O perfil gerado está representado na figura 82.

**Figura 81. Diagrama de deslocamento para construção do perfil do came.**



**Fonte: autoria própria.**

Figura 82. Perfil do came.



Fonte: autoria própria.

A espessura do came foi selecionada de acordo com as possíveis dimensões do seguidor que foi dimensionado de acordo com a largura de selagem: 10 *mm*. Assim sendo o came com o perfil encontrado, tem espessura de 12 *mm*.

A velocidade de rotação do came é calculada através de um raciocínio lógico com base da velocidade da esteira e a altura de elevação/descida.

- Esteira:  $V = 0,0606 \text{ m/s}$ , ou seja, um picolé é selado em:

$$V = \frac{\text{distância percorrida}}{\text{tempo}} \rightarrow 0,0606 = \frac{0,090}{t} \rightarrow t = 1,485 \text{ s}$$

- Came: tem que dar uma volta em  $t = 1,485 \text{ s}$ , portanto a rotação do came é:

$$\omega = \frac{2\pi \text{ rad}}{1,485 \text{ s}} \rightarrow \omega = 4,2311 \text{ rad/s} = 40,404 \text{ rpm}$$

- Portanto nesse tempo, o seguidor deve executar o repouso, a descida, o retorno e o repouso, o que equivale a uma volta do came.

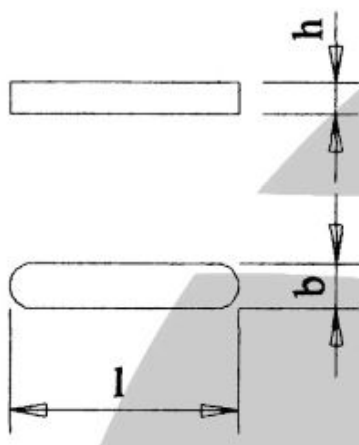
A figura 83 mostra o came já com o rasgo de chaveta e diâmetro para eixo, elementos cujo dimensionamento é mostrado nos próximos itens.

**Figura 83. Came.**

Fonte: própria autoria.

#### 4.3.7. Eixo do Came e a Chaveta

De acordo com os possíveis diâmetros de eixo apresentados na norma DIN 6885, o eixo selecionado para o came é o de  $d_1 = 30 \text{ mm}$  de diâmetro. De acordo com a tabela 26 pode se encontrar as dimensões e para a chaveta, figura 84.

**Figura 84. Dimensões da chaveta.**

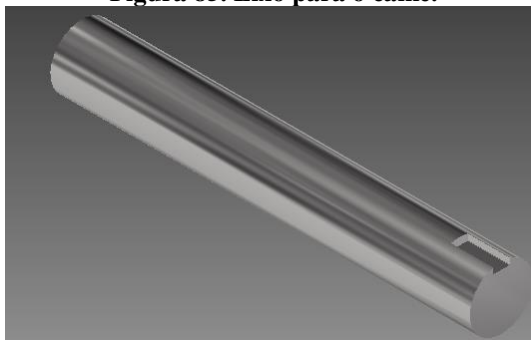
Fonte: DIN 6885.

**Tabela 26. Parte da norma DIN 6885.**

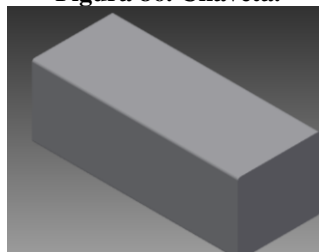
| SEÇÃO DE CHAVETAS PARALELAS<br>(Aço de acordo com DIN 6880) |              | Base b                | 2     | 3   | 4   | 5    | 6   | 8   |
|-------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|
|                                                             |              | Altura h              | 2     | 3   | 4   | 5    | 6   | 7   |
| Para eixos com diâmetro (d1)                                |              | acima                 | 6     | 8   | 10  | 12   | 17  | 22  |
|                                                             |              | até                   | 8     | 10  | 12  | 17   | 22  | 30  |
| Rasgo no eixo                                               | Largura b    | Ajuste apertado P9    |       |     |     |      |     |     |
|                                                             |              | Ajuste deslizante N9  | 2     | 3   | 4   | 5    | 6   | 8   |
|                                                             | Profundidade | t1                    | 1,2   | 1,8 | 2,5 | 3    | 3,5 | 4   |
|                                                             |              | tolerância            | + 0,1 |     |     |      |     |     |
| Rasgo no cubo                                               | Largura b    | Ajuste apertado P9    |       |     |     |      |     |     |
|                                                             |              | Ajuste deslizante JS9 | 2     | 3   | 4   | 5    | 6   | 8   |
|                                                             | Profundidade | t1                    | 0,5   | 0,9 | 1,2 | 1,7  | 2,2 | 2,4 |
|                                                             |              | tolerância            | + 0,1 |     |     |      |     |     |
| d2 mínimo                                                   |              |                       | 2,5   | 3,5 | 4   | 5    | 6   | 8   |
| Chanfro ou raio                                             |              | mínimo                | 0,16  |     |     | 0,25 |     |     |
|                                                             |              | máximo                | 0,25  |     |     | 0,40 |     |     |
| Raio no fundo do rasgo do eixo                              |              | máximo                | 0,16  |     |     | 0,25 |     |     |
|                                                             |              | mínimo                | 0,08  |     |     | 0,16 |     |     |

Fonte: DIN 6885.

Assim sendo,  $b = 8 \text{ mm}$ ,  $h = 7 \text{ mm}$ , raio de arredondamento de  $0,25 \text{ mm}$  e  $l = 20 \text{ mm}$ . O eixo está mostrado na figura 85 e a chaveta na figura 86. Tanto a chaveta arredondada nas extremidades quanto a quadrada servem para a aplicação, sendo que as chavetas quadradas são de mais fácil fabricação.

**Figura 85. Eixo para o came.**

Fonte: própria autoria.

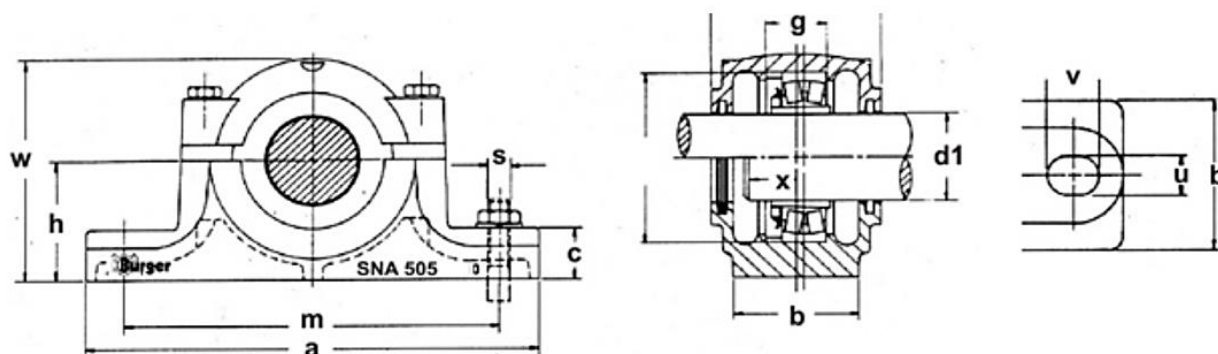
**Figura 86. Chaveta.**

Fonte: própria autoria.

#### 4.3.8. Mancal para o Eixo do Came

Para escolha de um mancal para o eixo do came utilizou-se os dados do site da ROLAUTO<sup>50</sup>. A tabela 27 encontrada no site informa todas as dimensões do mancal além das dimensões dos parafusos necessários para sua fixação, figura 87.

Figura 87. Dimensões de um mancal.



Fonte: ROLAUTO<sup>51</sup>.

Tabela 27.

| CAIXA   | d1<br>mm / pol | eixo   | D<br>H7 | a   | b  | c  | g<br>H12 | h<br>H12 | L   | w   | m   | S   | u  | v  | x  |
|---------|----------------|--------|---------|-----|----|----|----------|----------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| SNA 505 | 20             | 3/4"   | 52      | 165 | 46 | 19 | 25       | 40       | 67  | 74  | 130 | M12 | 15 | 20 | 20 |
| SNA 506 | 25             | 1"     | 62      | 185 | 52 | 22 | 32       | 50       | 77  | 90  | 150 | M12 | 15 | 20 | 21 |
| SNA 507 | 30             | 1.1/8" | 72      | 185 | 52 | 22 | 34       | 50       | 82  | 95  | 150 | M12 | 15 | 20 | 23 |
| SNA 508 | 35             | 1.1/4" | 80      | 205 | 60 | 25 | 39       | 60       | 85  | 110 | 170 | M12 | 15 | 20 | 24 |
| SNA 509 | 40             | 1.1/2" | 85      | 205 | 60 | 25 | 30       | 60       | 85  | 110 | 170 | M12 | 15 | 20 | 25 |
| SNA 510 | 45             | 1.3/4" | 90      | 205 | 60 | 25 | 41       | 60       | 90  | 115 | 170 | M12 | 15 | 20 | 26 |
| SNA 511 | 50             | 2"     | 100     | 255 | 70 | 28 | 44       | 70       | 95  | 130 | 210 | M16 | 18 | 23 | 28 |
| SNA 512 | 55             | 2.1/8" | 110     | 255 | 70 | 30 | 48       | 70       | 105 | 135 | 210 | M16 | 18 | 23 | 30 |
| SNA 513 | 60             | 2.1/4" | 120     | 275 | 80 | 30 | 51       | 80       | 110 | 150 | 230 | M16 | 18 | 23 | 33 |
| SNA 514 | 60             | -      | 125     | 275 | 80 | 30 | 51       | 80       | 115 | 155 | 230 | M16 | 18 | 23 |    |

Fonte: ROLAUTO<sup>52</sup>.

Então, para um eixo de  $d_1 = 30 \text{ mm}$ , tem-se:  $a = 165 \text{ mm}$ ,  $b = 52 \text{ mm}$ ,  $c = 22 \text{ mm}$ ,  $g = 34 \text{ mm}$ ,  $h = 50 \text{ mm}$ ,  $L = 82 \text{ mm}$ ,  $w = 95 \text{ mm}$ ,  $m = 150 \text{ mm}$ , e as dimensões  $s$ ,  $u$ ,  $v$  e  $x$  sendo  $s$  referente aos parafusos para fixação.

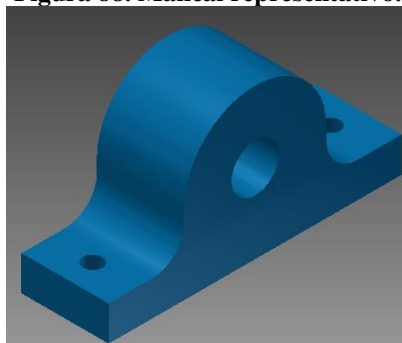
<sup>50</sup> Disponível em <<http://rolautorolamentos.com.br/Produto-Mancais-Mancal-SN-Mancal-SN516-versao-334-374.aspx>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<sup>51</sup> Disponível em <<http://rolautorolamentos.com.br/Produto-Mancais-Mancal-SN-Mancal-SN516-versao-334-374.aspx>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<sup>52</sup> Disponível em <<http://rolautorolamentos.com.br/Produto-Mancais-Mancal-SN-Mancal-SN516-versao-334-374.aspx>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

Em termos de projeto, desenhou-se um mancal representativo, figura 88, para fins visuais e para facilitar o projeto da seladora como um todo. Para tanto, apenas foram consideradas as medidas:  $a$ ,  $m$ ,  $w$ ,  $h$ ,  $c$  e  $s$ .

**Figura 88. Mancal representativo.**



Fonte: autoria própria.

#### 4.3.9. Seguidor

O tempo calculado para uma volta do came é o tempo em que o seguidor deve executar o repouso, a descida, o retorno e o repouso. Através dos ângulos que definem cada etapa, pode-se encontrar a velocidade do seguidor na descida e no retorno utilizando regra de três:

- Tempo de repouso:  $t_r = 0,1856 \text{ s}$ 

$$\begin{aligned} 360^\circ &\rightarrow 1,485 \text{ s} \\ 45^\circ &\rightarrow t_r \end{aligned}$$
- Tempo de elevação/descida:  $t_e = 0,5569 \text{ s}$ 

$$\begin{aligned} 360^\circ &\rightarrow 1,485 \text{ s} \\ 135^\circ &\rightarrow t_e \end{aligned}$$
- Tempo de retorno:  $t_{ret} = 0,5569 \text{ s}$ 

$$\begin{aligned} 360^\circ &\rightarrow 1,485 \text{ s} \\ 135^\circ &\rightarrow t_{ret} \end{aligned}$$
- Tempo do segundo repouso:  $t_r = 0,1856 \text{ s}$ 

$$\begin{aligned} 360^\circ &\rightarrow 1,485 \text{ s} \\ 45^\circ &\rightarrow t_r \end{aligned}$$
- Verificando tempo total:  $0,1856 + 0,5569 + 0,5569 + 0,1856 = 1,485 \text{ s}$

Com os tempos calculados e sabendo a altura, tem-se a velocidade do seguidor na subida e na descida, e, portanto, a velocidade com a qual o seguidor sela os picolés:

$$V_s = \frac{0,040}{1,485} \rightarrow V_s = 0,0269 \text{ m/s}$$

Escolheu-se as dimensões do seguidor conforme a área necessária de selagem:  $75 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  e a espessura do came,  $12 \text{ mm}$ .

#### 4.3.10. Mola de Retorno

Não sendo encontrado em livros ou artigos algum procedimento específico voltado apenas ao cálculo de mola para seguidores, utilizou-se as equações do Shigley (BUDYNAS e NISBETT, 2011) para molas de compressão.

Inicialmente tem-se as considerações para o cálculo:

- Diâmetro interno da mola:  $ID = 9 \text{ mm}$ .
- Deflexão desejada:  $y = 40 \text{ mm}$ .
- Tipo de extremidades: esquadradas e esmerilhadas. Assim sendo, de acordo com a tabela 28, tem-se as equações para número de espiras de extremidade ( $N_e$ ), o número total de espiras ( $N_t$ ), o comprimento livre ( $L_0$ ), o comprimento sólido ( $L_s$ ) e o passo ( $p$ ), lembrando que  $N_a$  é o número de espiras ativas.

**Tabela 28. Fórmulas para as características dimensionais das molas de compressão.**

| Termo                         | Tipo de extremidades de mola |                     |                       |                          |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
|                               | Plana                        | Plana e esmerilhada | Esquadrada ou fechada | Esquadrada e esmerilhada |
| Espiras de extremidade, $N_e$ | 0                            | 1                   | 2                     | 2                        |
| Total de espiras, $N_t$       | $N_a$                        | $N_a + 1$           | $N_a + 2$             | $N_a + 2$                |
| Comprimento livre, $L_0$      | $pN_a + d$                   | $p(N_a + 1)$        | $pN_a + 3d$           | $pN_a + 2d$              |
| Comprimento sólido, $L_s$     | $d(N_t + 1)$                 | $dN_t$              | $d(N_t + 1)$          | $dN_t$                   |
| Passo, $p$                    | $(L_0 - d)/N_a$              | $L_0/(N_a + 1)$     | $(L_0 - 3d)/N_a$      | $(L_0 - 2d)/N_a$         |

Fonte: BUDYNAS e NISBETT, 2011.

De acordo com o tipo de extremidade indicada:

$$N_e = 2$$

$$N_t = N_a + 2$$

$$L_s = d \cdot N_t$$

$$p = \frac{L_0 - 2d}{N_a}$$

- Sendo que a mola será suportada entre superfícies planas, de acordo com a tabela 29, tem-se a condição de extremidade:  $\alpha = 0,5$ .

Tabela 29. Constante  $\alpha$  de condição de extremidades para molas de compressão.

| Condição de extremidade                                                                                                    | Constante $\alpha$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Mola suportada entre superfícies planas paralelas (extremidades fixas)                                                     | 0,5                |
| Uma extremidade apoiada por superfície plana perpendicular ao eixo de mola (fixo); outra extremidade pivotada (articulada) | 0,707              |
| Ambas as extremidades pivotadas (articuladas)                                                                              | 1                  |
| Uma extremidade engastada; outra extremidade livre                                                                         | 2                  |

Fonte: BUDYNAS e NISBETT, 2011.

- Material selecionado para a mola: fio musical. Assim na tabela 29 tem-se os parâmetros:  $A = 2211 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^m$  e  $m = 0,145$ , que servem para calcular a resistência mínima de tração do fio da mola ( $S_{ut}$ ).

Tabela 30. As constantes A e m, para estimativa da resistência mínima de tração de fios comuns de mola.

| Material                          | ASTM nº | Expoente m | Diâmetro, mm | A, MPa · mm <sup>m</sup> | Custo relativo do fio |
|-----------------------------------|---------|------------|--------------|--------------------------|-----------------------|
| Fio musical*                      | A228    | 0,145      | 0,10–6,5     | 2211                     | 2,6                   |
| Fio temperado e revenido em óleo† | A229    | 0,187      | 0,5–12,7     | 1855                     | 1,3                   |
| Mola de fio duro estirado‡        | A227    | 0,190      | 0,7–12,7     | 1783                     | 1,0                   |
| Fio de cromo-vanádio§             | A232    | 0,168      | 0,8–11,1     | 2005                     | 3,1                   |
| Fio cromo-silício                 | A401    | 0,108      | 1,6–9,5      | 1974                     | 4,0                   |
| Fio inoxidável#                   | A313    | 0,146      | 0,3–2,5      | 1867                     | 7,6–11                |
|                                   |         | 0,263      | 2,5–5        | 2065                     |                       |
|                                   |         | 0,478      | 5–10         | 2911                     |                       |
| Fio fósforo-bronze**              | B159    | 0          | 0,1–0,6      | 1000                     | 8,0                   |
|                                   |         | 0,028      | 0,6–2        | 913                      |                       |
|                                   |         | 0,064      | 2–7,5        | 932                      |                       |

Fonte: BUDYNAS e NISBETT, 2011.

Também de acordo com o material, tem-se na tabela 31, a porcentagem necessária para encontrar a tensão torcional admissível de compressão ( $S_{sy}$ ) que neste será 45 % do  $S_{ut}$ .

Tabela 31. Tensões torcionais admissíveis máximas de compressão em aplicações estáticas

| Material                                              | Porcentagem máxima de resistência de tração               |                                                |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                       | Antes da remoção de assentamento (inclui $K_W$ ou $K_S$ ) | Após a remoção de assentamento (inclui $K_S$ ) |
| Fio musical e aço carbono estirado a frio             | 45                                                        | 60-70                                          |
| Aço carbono endurecido e revenido e aço de baixa liga | 50                                                        | 65-75                                          |
| Aços austeníticos inoxidáveis                         | 35                                                        | 55-65                                          |
| Ligas não ferrosas                                    | 35                                                        | 55-65                                          |

Fonte: BUDYNAS e NISBETT, 2011.

- Na tabela 32, pode-se encontrar também de acordo com o material (fio musical) as propriedades mecânicas de acordo com o diâmetro de fio. Já que não é conhecido o diâmetro de fio, os cálculos são feitos com todos os diâmetros e a partir dos critérios de projeto, é selecionado o diâmetro de fio adequado.

Tabela 32. Propriedades mecânicas de alguns fios de mola.

| Material                       | Limite elástico, porcentagem de $S_{ut}$ |       | Díâmetro $d$ , mm | $E$ GPa | $G$ GPa |
|--------------------------------|------------------------------------------|-------|-------------------|---------|---------|
| Fio musical A228               | 65-75                                    | 45-60 | <0,8              | 203,4   | 82,7    |
|                                |                                          |       | 0,8-1,6           | 200     | 81,7    |
|                                |                                          |       | 1,61-3            | 196,5   | 81,0    |
|                                |                                          |       | >3                | 193     | 80,0    |
| Mola de fio duro estirado A227 | 60-70                                    | 45-55 | <8                | 198,6   | 80,7    |
|                                |                                          |       | 0,8-1,6           | 197,9   | 80,0    |
|                                |                                          |       | 1,61-3            | 197,2   | 79,3    |
|                                |                                          |       | >3                | 196,5   | 78,6    |
| Revenido em óleo A239          | 85-90                                    | 45-50 |                   | 196,5   | 77,2    |
| Mola de válvula A230           | 85-90                                    | 50-60 |                   | 203,4   | 77,2    |
| Cromo-vanádio A231             | 88-93                                    | 65-75 |                   | 203,4   | 77,2    |
| A232                           | 88-93                                    |       |                   | 203,4   | 77,2    |
| Cromo-silício A401             | 85-93                                    | 65-75 |                   | 203,4   | 77,2    |
| Aço inoxidável                 |                                          |       |                   |         |         |
| A313*                          | 65-75                                    | 45-55 |                   | 193     | 69,0    |
| 17-7PH                         | 75-80                                    | 55-60 |                   | 208,4   | 75,8    |
| 414                            | 65-70                                    | 42-55 |                   | 200     | 77,2    |
| 420                            | 65-75                                    | 45-55 |                   | 200     | 77,2    |
| 431                            | 72-76                                    | 50-55 |                   | 206     | 79,3    |
| Fósforo-bronze B159            | 75-80                                    | 45-50 |                   | 103,4   | 41,4    |
| Berílio-cobre B197             | 70                                       | 50    |                   | 117,2   | 44,8    |
|                                | 75                                       | 50-55 |                   | 131     | 50,3    |
| Liga Inconel X-750             | 65-70                                    | 40-45 |                   | 213,7   | 77,2    |

Fonte: BUDYNAS e NISBETT, 2011.

Outras decisões necessárias ao projeto de molas são:

- Linearidade robusta:  $\xi \geq 0,15$ , portanto  $\xi = 0,15$
- Variou-se o número de espiras ativas em  $3 \leq N_a \leq 15$  até ser encontrado o valor cujo diâmetro de fio antecederesse aos critérios:
  - Índice de mola estar em:  $4 \leq C \leq 12$ .
  - Comprimento livre ser menor que o comprimento crítico:  $L_0 < L_{CR}$ .
  - O fator de segurança:  $n_s > 1,2$ .

O procedimento de cálculo está explicado na tabela 33 com todas as equações utilizadas.

**Tabela 33. Dimensionamento da mola de compressão.**

|                             | $d \leq 0,8 \text{ mm}$                                                                                                  | $0,8 < d \leq 1,6 \text{ mm}$ | $1,61 \leq d \leq 3 \text{ mm}$ | $d > 3 \text{ mm}$ |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| <b>ID</b>                   | 9 mm                                                                                                                     |                               |                                 |                    |
| <b>D (mm)</b>               | $D = ID + d$                                                                                                             |                               |                                 |                    |
| <b>OD (mm)</b>              | $OD = D + d$                                                                                                             |                               |                                 |                    |
| <b>C</b>                    | $C = \frac{D}{d}$                                                                                                        |                               |                                 |                    |
| <b>N<sub>a</sub></b>        | $3 \leq N_a \leq 15$                                                                                                     |                               |                                 |                    |
| <b>F<sub>max</sub></b>      | $F_{max} = \frac{N_a \cdot 8 \cdot D^3}{G \cdot d^4 \cdot y_{max}}$ , em que G varia para cada faixa de diâmetro de fio. |                               |                                 |                    |
| <b>N<sub>t</sub></b>        | De acordo com a tabela 28.                                                                                               |                               |                                 |                    |
| <b>L<sub>s</sub> (mm)</b>   | De acordo com a tabela 28.                                                                                               |                               |                                 |                    |
| <b>L<sub>0</sub> (mm)</b>   | De acordo com a tabela 28 ou $L_0 = L_s + (1 + \xi) \cdot y_{max}$                                                       |                               |                                 |                    |
| <b>L<sub>CR</sub> (mm)</b>  | $L_{CR} = 2,63 \cdot \frac{D}{\alpha}$                                                                                   |                               |                                 |                    |
| <b>S<sub>ut</sub> (Mpa)</b> | $S_{ut} = \frac{A}{d^m}$                                                                                                 |                               |                                 |                    |
| <b>S<sub>sy</sub> (Mpa)</b> | $S_{sy} = 0,45 \cdot S_{ut}$                                                                                             |                               |                                 |                    |
| <b>K<sub>B</sub></b>        | $K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3}$                                                                                            |                               |                                 |                    |
| <b>τ<sub>s</sub> (MPa)</b>  | $\tau_s = \frac{K_B \cdot 8 \cdot (1 + \xi) \cdot F_{max} \cdot D}{\pi \cdot d^3}$                                       |                               |                                 |                    |
| <b>n<sub>s</sub></b>        | $n_s = \frac{S_{sy}}{\tau_s}$                                                                                            |                               |                                 |                    |

**Fonte: autoria própria.**

O número de espiras ativas foi variado até que todos os critérios de projeto fossem satisfeitos. Parte dos resultados incluindo a mola selecionada estão representados na tabela 34.

**Tabela 34. Cálculo das dimensões da mola.**

|                                     | $d \leq 0,8 \text{ mm}$ |          |            |          | $0,8 < d \leq 1,6 \text{ mm}$ |          |            |          |            |            |           |           |
|-------------------------------------|-------------------------|----------|------------|----------|-------------------------------|----------|------------|----------|------------|------------|-----------|-----------|
|                                     | 0,5                     | 0,6      | 0,7        | 0,8      | 0,9                           | 1        | 1,1        | 1,2      | 1,3        | 1,4        | 1,5       | 1,6       |
| <b>ID (mm)</b>                      | 9                       | 9        | 9          | 9        | 9                             | 9        | 9          | 9        | 9          | 9          | 9         | 9         |
| <b>D (mm)</b>                       | 9,5                     | 9,6      | 9,7        | 9,8      | 9,9                           | 10       | 10,1       | 10,2     | 10,3       | 10,4       | 10,5      | 10,6      |
| <b>OD (mm)</b>                      | 10                      | 10,2     | 10,4       | 10,6     | 10,8                          | 11       | 11,2       | 11,4     | 11,6       | 11,8       | 12        | 12,2      |
| <b>C</b>                            | 19                      | 16       | 13,8571429 | 12,25    | 11                            | 10       | 9,18181818 | 8,5      | 7,92307692 | 7,42857143 | 7         | 6,625     |
| <b>N<sub>a</sub></b>                | 10                      | 10       | 10         | 10       | 10                            | 10       | 10         | 10       | 10         | 10         | 10        | 10        |
| <b>N<sub>t</sub></b>                | 12                      | 12       | 12         | 12       | 12                            | 12       | 12         | 12       | 12         | 12         | 12        | 12        |
| <b>L<sub>s</sub></b>                | 6                       | 7,2      | 8,4        | 9,6      | 10,8                          | 12       | 13,2       | 14,4     | 15,6       | 16,8       | 18        | 19,2      |
| <b>L<sub>o</sub></b>                | 52                      | 53,2     | 54,4       | 55,6     | 56,8                          | 58       | 59,2       | 60,4     | 61,6       | 62,8       | 64        | 65,2      |
| <b>(L<sub>o</sub>)<sub>CR</sub></b> | 52,600                  | 53,652   | 54,704     | 55,756   | 56,808                        | 57,860   | 58,912     | 59,964   | 61,016     | 62,068     | 63,120    | 64,172    |
| <b>F<sub>max</sub></b>              | 0,332                   | 0,165    | 0,092      | 0,056    | 0,036                         | 0,024    | 0,017      | 0,013    | 0,009      | 0,007      | 0,006     | 0,004     |
| <b>S<sub>ut</sub> (Mpa)</b>         | 2444,770                | 2380,986 | 2328,357   | 2283,709 | 2245,037                      | 2211,000 | 2180,654   | 2153,314 | 2128,467   | 2105,718   | 2084,757  | 2065,339  |
| <b>S<sub>sy</sub> (Mpa)</b>         | 1100,147                | 1071,444 | 1047,761   | 1027,669 | 1010,267                      | 994,950  | 981,294    | 968,992  | 957,810    | 947,573    | 938,141   | 929,403   |
| <b>K<sub>B</sub></b>                | 1,068                   | 1,082    | 1,095      | 1,109    | 1,122                         | 1,135    | 1,148      | 1,161    | 1,174      | 1,187      | 1,200     | 1,213     |
| <b>τ<sub>s</sub></b>                | 78,893                  | 23,249   | 8,339      | 3,453    | 1,615                         | 0,814    | 0,440      | 0,251    | 0,151      | 0,094      | 0,061     | 0,041     |
| <b>n<sub>s</sub></b>                | 13,945                  | 46,086   | 125,643    | 297,580  | 625,422                       | 1222,666 | 2232,446   | 3853,020 | 6343,411   | 10032,711  | 15329,306 | 22729,893 |

**Fonte: autoria própria.**

Os valores destacados em laranja são aqueles que não satisfazem um ou mais critérios estabelecidos. A coluna destacada de verde é a única que cumpre com todos os critérios para projeto de molas de compressão.

Para a mola escolhida, calcula-se a constante da mola como sendo:

$$k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N_a} \rightarrow k = 0,6906 \text{ N/m}$$

#### 4.3.11. Motor de Acionamento do Came

Para a realização da selagem não é necessária força, apenas contato entre a placa aquecida e a embalagem, portanto, a força que o came tem que vencer é a força da mola para deslocar o seguidor.

Pode-se encontrar a potência para acionar o came através do torque e da velocidade de rotação do came. Tem-se dos cálculos anteriores a força máxima para a mola ( $F$ ), o raio da circunferência base do came ( $r$ ) e a rotação do came ( $\omega$ ):

$$T = F \cdot r$$

$$P = T \cdot \omega = 0,036 \text{ N} \cdot 0,030 \text{ m} \cdot 4,2311 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 4,5696 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 6,2129 \cdot 10^{-6} \text{ cv}$$

Ou seja, o mesmo motor que atende a rotação da esteira serve para atender a rotação do came. Com as mesmas considerações calcula-se a redução necessária para o redutor.

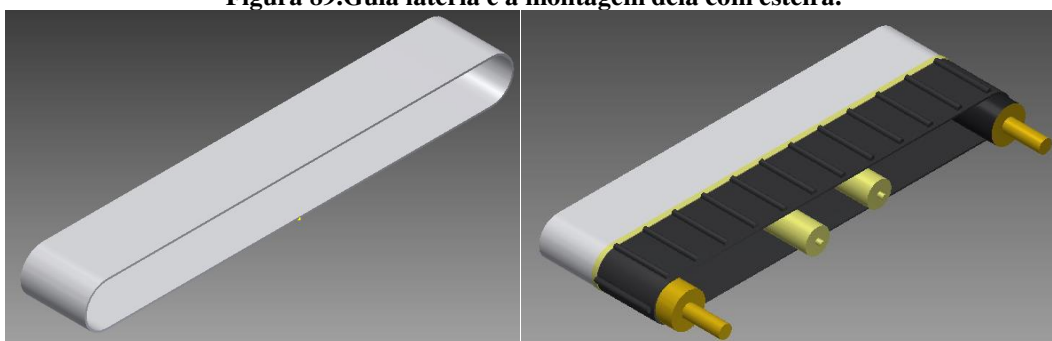
$$\frac{1800 \text{ rpm}}{40,404 \text{ rpm}} = 44,55 : 1$$

#### 4.3.12. Guias Laterais

As guias laterais foram dimensionadas de acordo com as dimensões da esteira e os comprimentos dos tambores encontrados a partir das normas. Além da função de não permitir que a esteira de desalinhe, ela foi dimensionada para cobrir e proteger os elementos como eixos e rolamentos.

O projeto da mesma é representativo, pois suas dimensões podem variar com o fabricante. A figura 89 ilustra basicamente como seria esta guia lateral também com função de proteger componentes e uma guia lateral posicionada em um dos lados da esteira.

**Figura 89. Guia lateral e a montagem dela com esteira.**

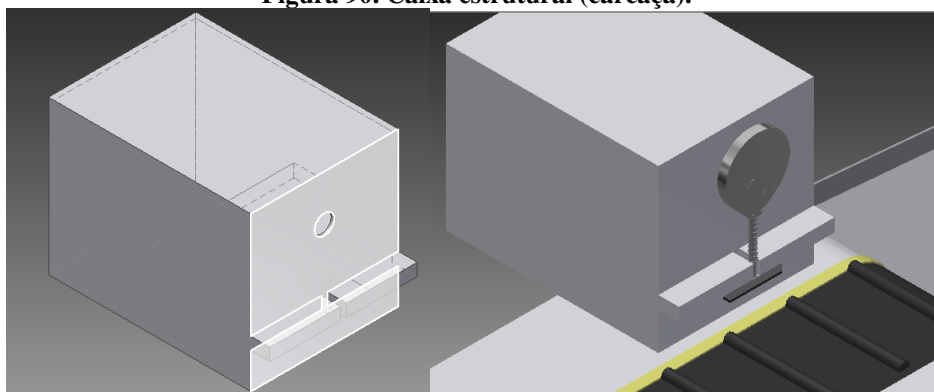


Fonte: autoria própria.

#### 4.3.13. Carcaça

A carcaça, ou caixa estrutural para conter, cobrir e proteger o eixo do came, o mancal e o motorreductor para o mesmo, foi dimensionada de acordo com as posições e alturas o came e o seguidor deviam estar da esteira. A figura 90 mostra a carcaça e o seu uso e aplicação.

**Figura 90. Caixa estrutural (carcaça).**



Fonte: autoria própria.

#### 4.4. PROJETO DETALHADO

Dentro do que é devido ao projeto detalhado: construção do projeto detalhado no CAD/CAE; criação de desenhos técnicos para fabricação; listas de materiais e custos; plano de fabricação; viabilidade do projeto; e formas de vender o projeto, apenas alguns dos itens são abordados a baixo como: construção do projeto de cada elemento discutido; para alguns elementos são abordados o material de fabricação e/ou a forma de fabricação; e são comentadas características de projeto que podem ser alteradas.

##### 4.4.1. Correia

Dos dados importantes sobre a correia que não acompanham o projeto técnico tem-se

- Capacidade da correia: 0,24 *ton/h*
- Velocidade: 0,0606 *m/s*
- Capacidade de selagem: 40 *pic/min*, 19200 picolés em 8h de trabalho.

As dimensões finais estão apresentadas no apêndice A.1.

Quanto à fabricação de correias com travessas pode processar-se da seguinte forma: fabricação da correia transportadora plana e em seguida aplicação das travessas por vulcanização a quente realizada em prensa de compressão em uma espécie de contramolde (que pode ser produzido com restos de telas calandradas com borracha, devidamente sobrepostas, com a espessura pretendida e depois vulcanizadas, formando um placa onde depois são abertas as ranhuras com a configuração aproximada das travessas), onde se aloja um número variável de travessas (quanto maior o número de cavidades no contramolde maior será o número de travessas aplicadas em cada vulcanização). Este contramolde ajuda a comprimir a travessa ou travessas contra a correia transportadora na fase de vulcanização, de forma a garantir uma boa ligação.

##### 4.4.2. Revestimento

Este pode ser fabricado de corte de níquel cromo ou de teflon, materiais bastante encontrados nas seladoras manuais e a pedais que foram apresentadas. Entretanto outro material pode ser recomendado e utilizado pelo fabricante da correia transportadora devido a fatores como

aderência e compatibilidade com o material da correia transportadora, entretanto deve ser antiaderente e manter suas propriedades a temperaturas entre 100 e 200 °C.

O projeto detalhado acompanhe este trabalho como o apêndice A.2.

#### 4.4.3. Tambores

Todas as considerações sobre os tambores e seus eixos são dados de acordo com o projeto preliminar, ressaltando no projeto detalhado a rotação dos tambores  $\omega \cong 1,1589 \text{ rad/s}$   $s = 11,0667 \text{ rpm}$  e o sentido de horário de rotação.

Os tambores são construídos em aço e o tambor de acionamento apresenta revestimento com 10 mm de espessura feito de borracha. Tal espessura pode ser menor, já que a finalidade do revestimento em melhorar a conexão tambor - correia está em função da superfície de revestimento e não da espessura.

O projeto dos tambores, livre e de acionamento, estão nos apêndices A.3 e A.4 respectivamente.

#### 4.4.4. Roletes

O projeto detalhado dos roletes, cuja rotação é no sentido horário (15,4332 rpm) está disposto no apêndice A.5. Quanto ao material de fabricação, é cabível ao fabricante, mas a NBR 6678 orienta quanto às escolhas de acordo com a tabela 35.

**Tabela 35. Materiais para fabricação dos roletes.**

| Item | Descrição |                       | Material                               |
|------|-----------|-----------------------|----------------------------------------|
| 01   | Rolo      | 1.1 Tubo              | ABNT NBR 6591                          |
|      |           | 1.2 Eixo              | ABNT NBR 6006<br>(referência aço 1020) |
|      |           | 1.3 Anéis de borracha | ABNT NBR 10392                         |
| 02   | Suporte   |                       | Aço estrutural                         |

Fonte: NBR 6678.

#### 4.4.5. Motorreductor – Esteira

Os detalhes importantes do motor e a redução para a esteira são:

- Potência: 0,16 cv (0,12 kW).

- Isolamento: Classe B.
- Rotor gaiola TFVE.
- 4 polos.
- Tensão: 220/380 *volts*.
- Rotação: 1800 *rpm*.
- Redutor: 162,65 : 1.
- Frequência da rede: 60 *Hz*.

As outras características que em um dado momento forem necessárias podem ser encontradas em catálogos, como exemplo o catalogo WEG<sup>53</sup>.

Quanto ao posicionamento do motor em relação a esteira, deixa-se em aberto para o fabricante, pois o motor pode ser posicionando tanto em baixo da esteira quanto na lateral como mostra a figura 91.

**Figura 91. Esteira com motor posicionado na lateral.**



**Fonte: MECALUX logismarket<sup>54</sup>.**

O suporte (a mesa) para a esteira deve ser semelhante à figura 91, com altura de 1000 *m*, uma altura ideal em termos ergonômicos para qualquer operador que for utilizar a máquina. Pode ser em forma de T como a figura 91 ou semelhante a uma mesa com quatro pernas.

<sup>53</sup> Disponível em <[http://gerson.luqueta.com.br/index\\_arquivos/motoresWEG.pdf](http://gerson.luqueta.com.br/index_arquivos/motoresWEG.pdf)>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<sup>54</sup> Disponível em <<https://www.logismarket.ind.br/tecnind-tecnologia-industrial/esteira-transportadora-modular-multifuncional/3880660905-1179618388-p.html>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

#### 4.4.6. Came

As dimensões e características finais do came são:

- Circunferência base: 60 *mm*.
- Espessura: 12 *mm*.
- Velocidade de rotação:  $\omega = 40,404 \text{ rpm}$ .
- Rotação: sentido horário.
- Eixo:  $d = 30 \text{ mm}$ .
- Material: aço inox por ser resistente a corrosão, característica importante já que se trata de uma fábrica alimentícia.

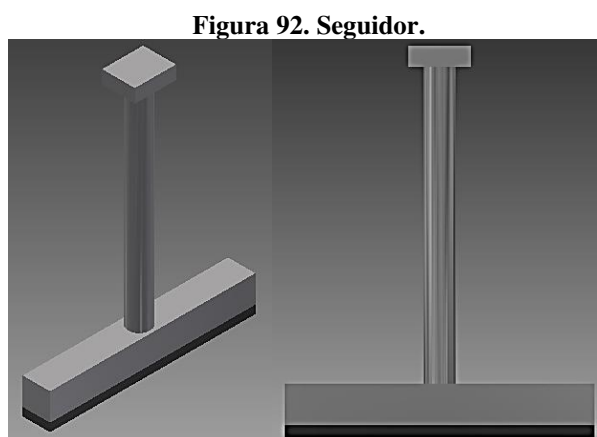
O projeto detalhado do came acompanha este trabalho como o apêndice A.6.

#### 4.4.7. Eixo do Came e a Chaveta

Sugerido que o eixo do came também deva ser de aço inox tem-se o projeto detalhado do eixo e da chaveta acompanhado este trabalho como apêndices A.7 e A.8 respectivamente.

#### 4.4.8. Seguidor

Optou-se por um seguidor vazado para diminuir custo de material, além de fazer o mesmo ser mais leve, requerendo uma mola de retorno com dimensões menores e força elástica menor. O seguidor está mostrado na figura 92.



Fonte: autoria própria.

Outra razão para as dimensões de projeto selecionadas para o seguidor é o projeto elétrico futuro, já que a placa antiaderente contida no final do seguidor deve ser aquecida, pois a mesma é responsável pela selagem.

A velocidade de selagem é  $V_s = 0,0269 \text{ m/s}$  e o projeto detalhado do seguidor acompanha este trabalho como o apêndice A.9.

A placa antiaderente aquecida, representada na figura 92 na cor preta, pode ser de aço inox ou de algum material que seja antiaderente com relação ao material das embalagens. A espessura da placa é de  $3 \text{ mm}$ . A temperatura de selagem deve ser em torno de  $100$  e  $150^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.9. Mola de Retorno

As dimensões finais da mola de retorno, assim como o material são:

- Material: fio musical;
- Diâmetro de fio:  $d = 0,9 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro externo:  $OD = 10,8 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro interno:  $ID = 9 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro médio:  $D = 9,9 \text{ mm}$ ;
- Comprimento livre:  $L_0 = 56,8 \text{ mm}$ ;
- Comprimento sólido:  $L_s = 10,8 \text{ mm}$ ;
- Espiras ativas:  $N_a = 10$ .

O projeto técnico da mola está no apêndice A.10.

#### 4.4.10. Motorreductor para o Came

As características do motor e a redução necessária são:

- Potência:  $0,16 \text{ cv}$  ( $0,12 \text{ kW}$ ).
- 4 polos.
- Tensão:  $220/380 \text{ volts}$ .
- Rotação:  $1800 \text{ rpm}$ .
- Redutor:  $44,55 : 1$ .
- Frequência da rede:  $60 \text{ Hz}$

O motorreductor para o came poderá ser acoplado no espaço da carcaça feito com como destino para o mesmo.

É ansiado para esta seladora que objetiva compatibilidade e economia, o uso de apenas um motor. Mas é após o projeto elétrico da máquina seladora, junto ao projeto mecânico (objetivo deste trabalho), verificar se a opção de um mesmo motorreductor acionar o came e a esteira são viáveis, já que comercialmente as esteiras possuem um motor individual.

#### **4.4.11. Guias Laterais e Carcaça**

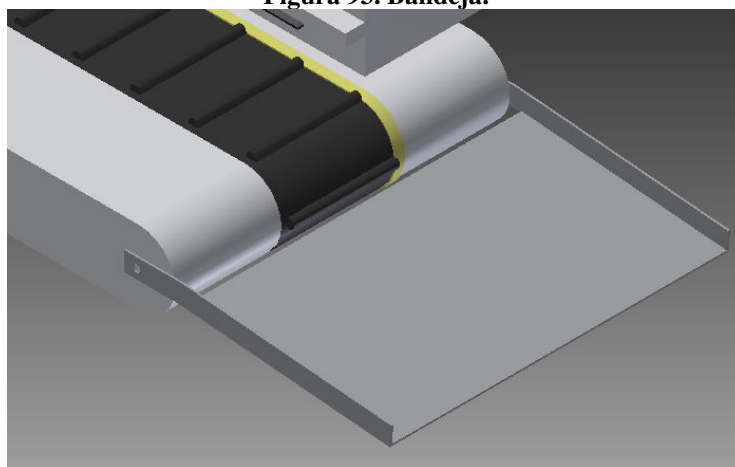
Como fora dito, as guias laterais foram dimensionadas de acordo com as dimensões da correia transportadora e doas tambores. É aconselhável que elas sejam de aço (de preferência que seja pintada), de aço inox por ser resistente a corrosão, ou até mesmo de alumínio devido a sua característica de ser leve, além de barato.

As dimensões em projeto estão no anexo 11. E a parte estrutural relacionada ao came, nomeado de carcaça tem seu projeto apresentado no apêndice A.12.

#### **4.4.12. Bandeja**

Pensou-se ainda em projetar uma bandeja para abrigar os picolés que forem saindo da esteira. Aconselha-se que a mesma seja parafusada à parte estrutural da esteira. A bandeja apresenta ângulo de inclinação de  $5^\circ$  para prover o deslizamento dos picolés até, por exemplo, uma caixa de isopor posicionada.

**Figura 93. Bandeja.**



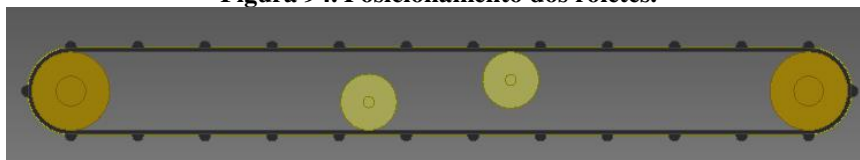
**Fonte: autoria própria.**

As dimensões principais da bandeja estão apresentadas no apêndice A.13.

#### 4.4.13. Máquina Seladora

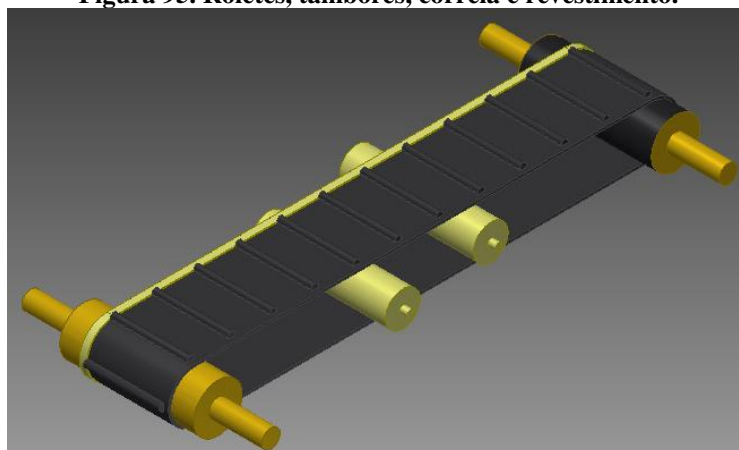
Aqui serão apresentados algumas vistas e detalhes da máquina seladora já montada a partir dos elementos mecânicos projetados. Detalhes como parafusos e rolamentos não foram desenhados.

**Figura 94. Posicionamento dos roletes.**



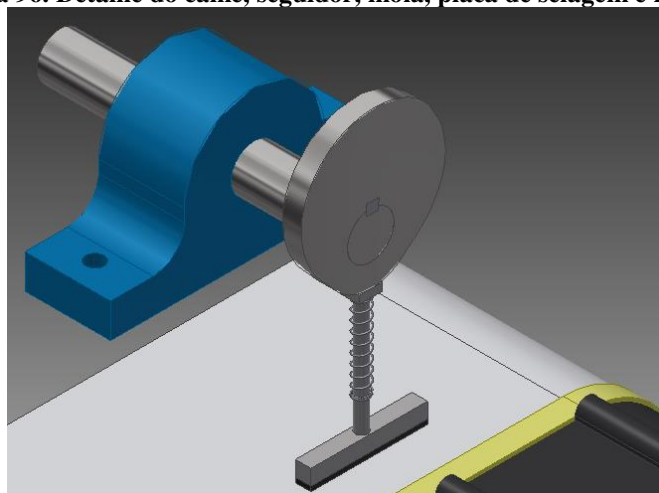
Fonte: autoria própria.

**Figura 95. Roletes, tambores, correia e revestimento.**



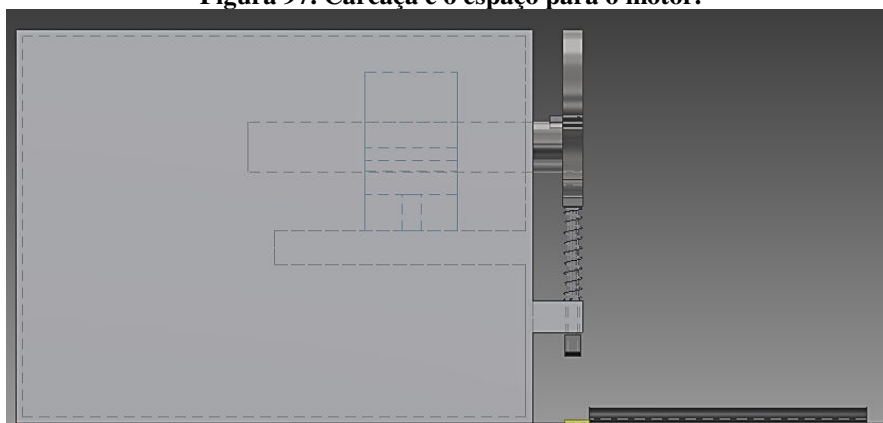
Fonte: autoria própria.

**Figura 96. Detalhe do came, seguidor, mola, placa de selagem e mancal.**



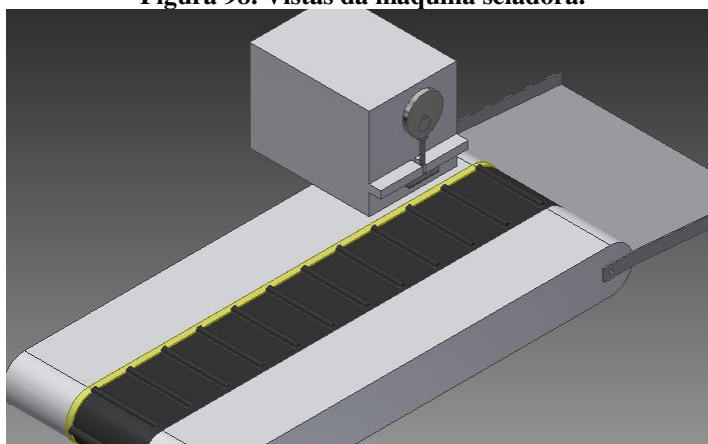
Fonte: autoria própria.

**Figura 97. Carcaça e o espaço para o motor.**



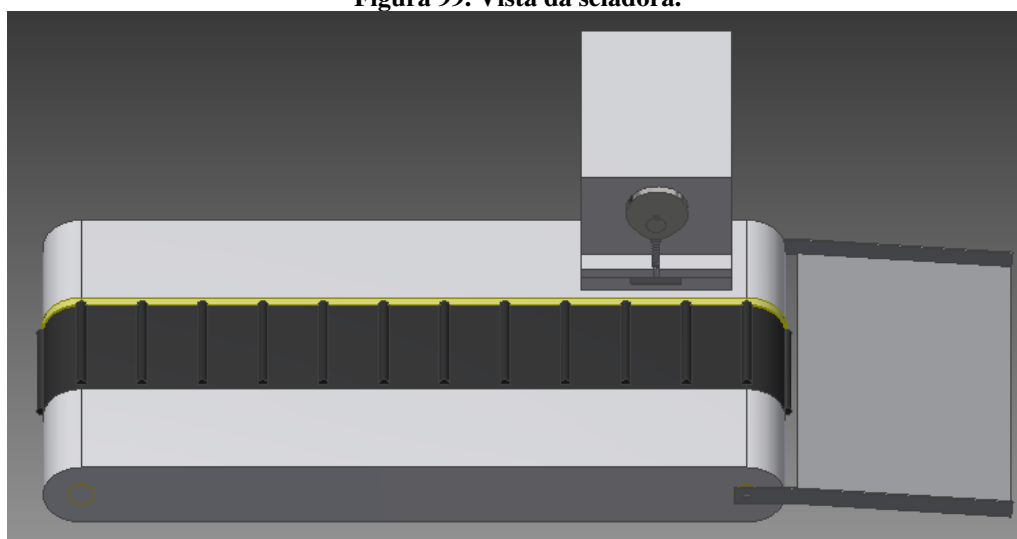
Fonte: autoria própria.

**Figura 98. Vistas da máquina seladora.**



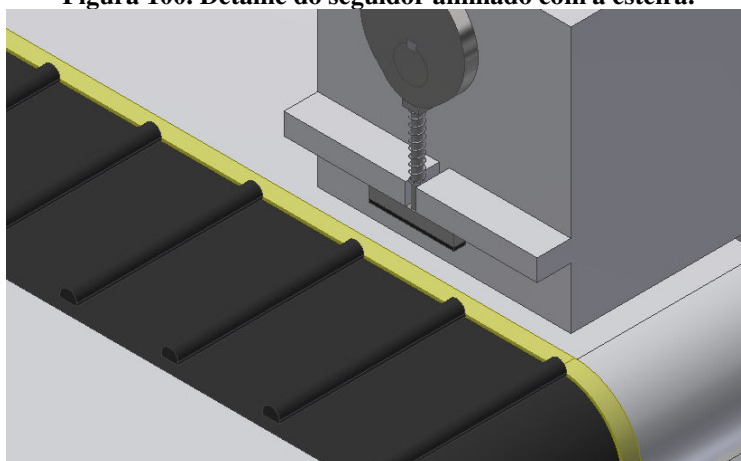
Fonte: autoria própria.

**Figura 99. Vista da seladora.**



Fonte: autoria própria.

**Figura 100. Detalhe do seguidor alinhado com a esteira.**



**Fonte: autoria própria.**

## **5 CONCLUSÃO**

Conseguiu-se de forma satisfatória projetar uma seladora de picolés utilizando o mecanismo de came e uma esteira, de forma que a mesma é econômica, compacta e, no ponto de vista de um engenheiro mecânico, ainda passível de ser mais compacto.

O projeto final apresentou a necessidade de dois motores, devido que industrialmente e comercialmente, as esteiras possuem um motor próprio, mas com base no que foi dimensionado acredita-se que é possível o uso de um único motor para os dois acionamentos necessários. Entretanto o mesmo deve ser planejado e analisado conforme certas características como confiabilidade, robustez, ser ou não ser compacto, e economia. Para tanto, o projeto elétrico da máquina é essencial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<<http://www.artflexmt.com.br/Perguntas-Frequentes/quais-sao-as-caracteristicas-do-bopp-perolizado.html>>. Acessado em 17 de outubro de 2017.

<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-6-motores-eletricos-assincrono-de-alta-tensao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<<http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/38elem.pdf>>. Aula 38: Came. Autor não identificado. Acesso em 18 de agosto de 2017.

<[http://gereson.luqueta.com.br/index\\_arquivos/motoresWEG.pdf](http://gereson.luqueta.com.br/index_arquivos/motoresWEG.pdf)>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<<http://rolautorolamentos.com.br/Produto-Mancais-Mancal-SN-Mancal-SN516-versao-334-374.aspx>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<<http://www.artflexmt.com.br/Perguntas-Frequentes/quais-sao-as-caracteristicas-do-bopp-perolizado.html>>. Acessado em 17 de outubro de 2017.

<<http://www.camaxdobrasil.com.br/produtos/?prod=103&produto=tambores-de-retorno>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<<http://www.rtc.net.br/comentarios-importantes-sobre-motoredutores/>>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

<<http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/metal-mecanica-e-usinagem/ht-usinagem/produtos/movimentacao-e-armazenagem/roletes-para-esteira-transportadora>>. Acessado em 15 de outubro e 2017.

<<http://www.terranovadistribuidora.com.br/imagens/informacoes/correia-esteira-transportadora-01.jpg>>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

<<https://blackapron.produto.rakuten.com.br/forma-para-picole-caseira-paleta-mexicana-6-picoles.aspx>>. Acessado em 14 de outubro de 2017.

<[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-750731945-fabrica-picole-sorvete-forma-picole-picoleteira-24-picoles-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-750731945-fabrica-picole-sorvete-forma-picole-picoleteira-24-picoles-_JM)>. Acessado em 14 de outubro de 2017.

<<https://pt.aliexpress.com/cheap/cheap-ribbed-rubber-belt.html>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Came\\_\(mec%C3%A2nica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Came_(mec%C3%A2nica))>. Acessado em 18 de agosto de 2017.

<<https://www.irmaoshaluli.com.br/forma-para-picole-tradicional-cabeca-quadrada-em-inox-com-28-cavidades-01und.html>>. Acessado em 14 de outubro de 2017.

<<https://www.logismarket.ind.br/tecnind-tecnologia-industrial/esteira-transportadora-modular-multifuncional/3880660905-1179618388-p.html>>. Acesso em 15 de outubro de 2017.

<<https://www.logismarket.pt/ip/a-c-j-silva-correias-transportadoras-com-travessas-correia-com-travessas-1081416-FGR.jpg>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

<<produto.mercadolivre.com.br>>. Acesso em 8 de março de 2017.

<[www.aartgraf.com.br](http://www.aartgraf.com.br)>. Acesso em 23 de julho de 2017.

<[www.cetroloja.com.br](http://www.cetroloja.com.br)>. Acesso em 23 de julho de 2017.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6172: Transportadores contínuos - Transportadores de correia - Tambores – Dimensões.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6177: Transportadores contínuos - Transportadores de correia – Terminologia.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6678: Transportadores contínuos, Transportadores de correias — Roletes — Projeto, seleção e padronização.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8011: Cálculo da capacidade de transportadores contínuos - Transportadores de correia.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8205: Cálculo de Força e Potência – Transportadores Contínuos – Transportadores de Correia.

Autor não especificado. **Capítulo 3 – Cames**. <<http://slideplayer.com.br/slide/356024/>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

Autor não identificado. **Apostila sobre Cames**. Curso de Engenharia Mecânica, UFSC. <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA6dkAF/apostila-sobre-cames>>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley** Projeto de Engenharia Mecânica. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CAETANO, Mário J.L. **Classificação das Correias Transportadoras**. <[http://ctborracha.com/?page\\_id=9990](http://ctborracha.com/?page_id=9990)> Acesso em 10 de agosto de 2017.

CAETANO, Mário J.L. **Correias Transportadoras Especiais**. <[http://ctborracha.com/?page\\_id=10284](http://ctborracha.com/?page_id=10284)>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

CLARO, J. C. Pimenta. **Mecânica Aplicada: Cames**. Versão 2004. Curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica -Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade do Minho.

COUTINHO, Leandro. **Motores Elétricos**. <<https://ensinandoeletrica.blogspot.com.br/2014/12/motores-eletricos.html?m=0>>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

Empresa MAFDEL. **Acessórios para esteiras transportadoras**. <<http://www.mafdel-belts.com/pt-pt/produto/aceessorios-esteira-transportadora/>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.  
 Empresa: FAÇO, Fábrica de Aço Paulista S.A. **Manual de Transportadores Correias**. 4ª Edição.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 7 ed. São Paulo: Érica, 2011.

Manual de Marca Sorvetes Pink, <<https://pt.slideshare.net/jenydesign/manual-de-marca-sorvetes-pink>>. Acesso em 14 de outubro de 2017.

MARIBONDO, Juscelino de Farias. **Desenvolvimento de uma Metodologia de Projeto de Sistemas Modulares, Aplicada a Unidades de Processamento de Resíduos Sólidos Domiciliares**. Tese (Doutorado em engenharia mecânica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 277 p, 2000.

MELO, Francisco Queirós de; CARNEIRO, Joaquim. **Cinemática e Dinâmica das Cames**. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho - Escola de Ciências, Campus Azurém, 2008.

**Motores Elétricos**. Título traduzido para o português. <[www.areatecnologia.com](http://www.areatecnologia.com)>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

NEGRI, Victor Juliano de. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle Parte II – Sistemas Pneumáticos para Automação**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis, 2001.

NEIS, Patric Daniel. **Apostila de Cames, Quatro Barras, Cursor Manivela, Garfo Escocês, Mecanismos de Retorno Rápido e Manivela Articulada**. Apostila da disciplina mecanismos I. Curso de Engenharia Mecânica da UFRGS. Porto Alegre, 2012.

Norma DIN 6885: Chavetas Paralelas.

NORTON, Robert L. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. 1ª ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2010.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1054 p.

RICARDO, Elton. **Eixos e Cames**. SENAI, 18 de setembro de 2014.

SMC INTERNATIONAL TRAINING. **O Negócio SMC**. Outubro de 2007. <<https://pt.slideshare.net/marcelfelipe21/negociosmc>>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

VIEIRA, Luciano. **Motores Elétricos** Princípios e Fundamentos. Universidade Estadual de Maringá, Campus do Arenito, Paraná.

ZAIONS, Douglas Roberto. **Elementos de Máquinas III**. Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campus de Joaçaba, fevereiro de 2008.

## **APÊNDICE**

