

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

Faculdade de Engenharia

A FILMAGEM SUBMERSA NO AUXÍLIO AO
DESENVOLVIMENTO DA NATAÇÃO COMPETITIVA

SANTOS – 2006

BRUNO GOICHI RODRIGUES FUJII

CAUÊ FONSECA E CENSI

DANIEL DOMINGUES FRAGA MOREIRA

DAVI NELSON BURGHI BARBOZA

FABRICIO JOSÉ DA SILVA

RENATO MONTEIRO BARTHOLO

A FILMAGEM SUBMERSA NO AUXÍLIO AO
DESENVOLVIMENTO DA NATAÇÃO COMPETITIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Santa Cecília dos Bandeirantes
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Industrial Mecânico.

Orientador: Prof. Valmir Demarchi

Coordenador: Prof. Carlos Alberto Amaral
Moino.

SANTOS – 2006

BRUNO GOICHI RODRIGUES FUJII
CAUÊ FONSECA E CENSI
DANIEL DOMINGUES FRAGA MOREIRA
DAVI NELSON BURGHI BARBOZA
FABRICIO JOSÉ DA SILVA
RENATO MONTEIRO BARTHOLO

**A FILMAGEM SUBMERSA NO AUXÍLIO AO
DESENVOLVIMENTO DA NATAÇÃO COMPETITIVA**

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof.Engº. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof.Engº. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof.Engº. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof.Engº. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

SANTOS – 2006

Este trabalho é dedicado a toda equipe que trabalha para o desenvolvimento da natação na Universidade Santa Cecília, ao Engº Carlos Alberto Amaral Moino, ao Engº Matheus Novaes Marsola, aos técnicos responsáveis pela oficina mecânica da Universidade e a todas as pessoas que nos ajudaram e incentivaram e também a todos aqueles que não desistem de seus objetivos, a quem desejamos um bom aproveitamento deste projeto.

RESUMO

FUJII, Bruno Goichi Rodrigues, CENSI, Cauê Fonseca e, MOREIRA, Daniel Domingues Fraga, BARBOZA, Davi Nelson Burghi, SILVA, Fabricio José da, BARTHOLO, Renato Monteiro. A Filmagem Submersa no Auxílio do Desenvolvimento da Natação Competitiva. 2006. 57 pág. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) UNISANTA.

O objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema de filmagem submersa para identificar e corrigir eventuais desvios nos movimentos realizados pelos nadadores dentro da água, tornando-se assim, uma ferramenta útil no auxílio de treinadores, atletas e profissionais ligados à natação competitiva.

Tendo em vista o interesse da Faculdade de Educação Física e Esportes da Universidade Santa Cecília em investir neste projeto, buscou-se projetar um equipamento de baixo custo, contudo, sem perder a qualidade e precisão das imagens.

Analisando as principais variáveis dos esforços envolvidos na natação, como propulsão e arrasto, e a característica dos atletas que afetam estas variáveis, torna-se viável trabalhar para que seja possível aperfeiçoar a relação entre força de arrasto e força de propulsão.

Através de um sistema de filmagem submersa que acompanha o movimento do nadador por toda a extensão da piscina (com exceção de largadas e viradas), podem-se obter subsídios para o aprimoramento das técnicas de natação. Para tanto, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema de translação que faça com que a câmera translade na velocidade média desenvolvida pelo atleta dentro da água.

Palavras-chaves: Natação. Filmagem Submersa. Sistemas Translação.

ABSTRACT

FUJII, Bruno Goichi Rodrigues, CENSI, Cauê Fonseca e, MOREIRA, Daniel Domingues Fraga, BARBOZA, Davi Nelson Burghi, SILVA, Fabricio José da, BARTHOLO, Renato Monteiro. The Underwater Filming as an Aid to the Competitive Swimming Development. 2006. 57 pág. Final Work for the Mechanical Engineering Graduation - UNISANTA.

The aim of this work is to develop an underwater filming system that could be used to identify and to correct the eventual movement deviations carried out by the swimmers inside the water. It provides an useful tool to help the coaches, athletes and professionals involved in competitive swimming. Considering the interest of the Santa Cecilia's University Graduation Course in Phisical Education to invest in this project, we first think to build a low cost equipment but without losing the quality and images' precision.

After analyzing the main effort variables related to swimming such as propulsion and drag and considering the athletes' characteristics which affect these variables, it was possible to start working for the optimization of the relationship between the drag and propulsion forces. The underwater filming system can follow the swimmer's movement by the whole swimming pool extension (except for the starts and turns), so that it can provide subsidies to improve the swimming techniques. For that, it is necessary to develop a translation system that moves the camera inside of the water in the medium speed of the athlete.

Key words: Swimming. Underwater Filming. Translation Systems.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	p.01
------------------	------

CAPÍTULO 1 – TEORIAS E TÉCNICAS APLICADAS NA NATAÇÃO COMPETITIVA

1.1 Apresentação	p.04
1.2 Resistência	p.04
1.2.1 Características dos nadadores que afetam o arrasto	p.05
1.2.1.1 Efeitos da orientação do corpo do nadador.....	p.05
1.2.1.2 Efeitos de velocidade	p.06
1.2.2 Alguns tipos de arrasto.....	p.06
1.2.2.1Arrasto de forma.....	p.07
1.2.2.2Arrasto de onda.....	p.09
1.3 Propulsão.....	p.09

CAPÍTULO 2 - ESTRUTURA MECÂNICA – DETALHAMENTO

2.1 Sistema de translação do dispositivo de filmagem	p.12
2.1.1Desenvolvimento e memorial de cálculo do trilho	p.12
2.1.2 Desenvolvimento do carro.....	p.17
2.1.3 Desenvolvimento e memorial de cálculo do acionamento.....	p.18
2.2 Caixa Estanque.....	p.30

CAPÍTULO 3 - AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSLAÇÃO

3.1 Automação.....	p.34
3.1.1Sistema de atuação manual.....	p.35
3.1.2 Sistema de atuação semi-automático	p.35
3.1.3 Sistema de atuação automática.....	p.36
3.2 Justificativa	p.37
3.3 Composição do Sistema	p.37
3.3.1 Materiais utilizados	p.37
3.3.2 Motorização do sistema de translação	p.38
3.3.3 Fonte de Alimentação.....	p.39
3.3.4 Potenciômetro	p.39

CAPÍTULO 4 – SISTEMA DE FILMAGEM

4.1 Justificativa para a escolha do equipamento	p.42
4.2 Composição do Sistema	p.42
4.2.1 Materiais utilizados	p.42
4.2.2 Cabos	p.44
4.2.3 Monitor / Gravador	p.44

CAPÍTULO 5 – PROCESSO DE FABRICAÇÃO E DESEMPENHO

5.1 Fabricação	p.45
5.2 Custo.....	p.46
5.3 Desempenho.....	p.47

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... p.48

ANEXOS

7.1 Trilho de cantoneiras.....	p.50
7.2 Detalhe do engrenamento, mancal, rolamento e eixos	p.50
7.3 Rodas de PVC	p.51
7.4 Bateria 12V	p.51
7.5 Controle de velocidade	p.51
7.6 Desenho de conjunto e detalhes.....	p.52

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

p.49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diferença da área de contato dos nadadores devido a posição horizontal	p.05
Figura 1.2 – Comparação das posições do corpo em três estilos de Competição.....	p.08
Figura 1.3 – Efeito dos movimentos laterais	p.08
Figura 1.4 – Teoria da “roda de pá” da propulsão.....	p.10
Figura 2.1 – Sistema de Filmagem	p.12
Figura 2.2 – Momento fletor	p.14
Figura 2.3 – Flecha	p.14
Figura 2.4 – Momento fletor (caso crítico)	p.14
Figura 2.5 – Flecha (caso crítico).....	p.16
Figura 2.6 – Esquema do módulo e detalhe de fixação	p.16
Figura 2.7 – Esquema e dimensões do carro	p.17
Figura 2.8 – Detalhe do sistema de transmissão	p.23
Figura 2.9 – Aplicação de engrenagens de polímeros.....	p.25
Figura 2.10 – Detalhamento da engrenagem	p.25
Figura 2.11 – Ângulos de pressão da engrenagem	p.26
Figura 2.12a - Fator de carregamento	p.28
Figura 2.12b - Fator de esbeltez	p.29
Figura 2.13 – Princípio aerodinâmico da asa de avião	p.31
Figura 2.14 – Detalhamento da caixa estanque.....	p.32
Figura 3.1 – Resumo do processo de fabricação de um produto.....	p.33
Figura 3.2 – Exemplo do controle de processo manual.....	p.35
Figura 3.3 – Exemplo do controle de processo Semi-Automático.....	p.35
Figura 3.4 – Exemplo do controle de processo automático	p.36
Figura 3.5 – Motoredutor Bosch tipo FPG.....	p.38
Figura 3.6 – Curva de performance do Motoredutor	p.38
Figura 3.7 – Bateria Corrente Contínua 12V	p.39
Figura 3.8 – Esquema simbólico de um Potenciômetro.....	p.39

Figura 3.9 – Esquema Equivalente do Circuito	p.40
Figura 3.10 – Exemplo Esquemático (Controle de volume)	p.41
Figura 3.11 – Esquema eletrônico	p.41
Figura 4.1—Câmera filmadora de segurança	p.43
Figura 4.2 – Câmera filmadora	p.43
Figura 4.3 – Cabos RCA	p.44
Figura 4.4 – Televisão	p.44
Figura 4.5 – Vídeo cassete	p.44
Figura 5.1 –Detalhe do carro em 3 dimensões	p.45
Figura 5.2 – Carro de translação	p.46
Figura 5.3 – Projeto em teste.....	p.47
Figura 7.1 – Trilhos de cantoneira	p.50
Figura 7.2 – Detalhe do engrenamento, mancal, rolameto e eixos	p.50
Figura 7.3 – Rodas de PVC	p.51
Figura 7.4 – Bateria 12V	p.51
Figura 7.5 – Controle de velocidade	p.51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.1 – Equação do arrasto.....	p.06
Equação 2.1 – Tensão admissível do material dos trilhos	p.13
Equação 2.2 – Equação módulo de resistência	p.15
Equação 2.3 – Somatória de forças.....	p.18
Equação 2.4 – Força de arrasto.....	p.18
Equação 2.5 – Equação de Reynolds.....	p.19
Equação 2.6 – Equação do atrito para rodas motoras.....	p.20
Equação 2.7 – Equação do momento do atrito	p.20
Equação 2.8 – Cálculo de potência	p.22
Equação 2.9 – Equação da velocidade.....	p.22
Equação 2.10 – Torque necessário para movimentar o carro	p.23
Equação 2.11 – Equação de relação de transmissão.....	p.24
Equação 2.12 – Cálculo do número de dentes das engrenagens	p.26
Equação 2.13 – Cálculo da tensão flexão nos dentes das engrenagens.....	p.27
Equação 2.14 – Força exercida na roda	p.30
Equação 2.15 – Equação do empuxo	p.32
Equação 2.16 – Equação do volume	p.32

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dimensões das engrenagens.....	p.27
Tabela 3.1 – Comparativa do tipo de processo a ser utilizado.....	p.37
Tabela 4.1 – Especificações técnicas da câmera filmadora	p.43
Tabela 5.1 – Custo do projeto.....	p.46

INTRODUÇÃO

Os maiores atletas profissionais preparam-se arduamente para a natação olímpica, buscando a cada dia a superação. Horários extremamente controlados, alimentação balanceada e suplementada, geralmente definida por médicos nutrólogos; treinamentos rigorosos monitorados por aparelhos eletrônicos, sendo os resultados analisados exaustivamente por especialistas, e até mesmo auxílio psicológico em função do stress proveniente de competições e cobranças cada vez maiores, vivendo focados sempre em um único objetivo: uma medalha Olímpica.

Como afirmou Maglischo em seu livro “Nadando ainda mais rápido” mostra como uma pequena diferença de tempo define as colocações na natação:

“Gary Hall Jr., que largou atrás de seus principais concorrentes, cravou o tempo de 21”93. Em segundo lugar ficou o croata Duje Draganja, com 21”94, e o bronze foi para o sul-africano Mark Roland Schoeman, com 22”02.”. [7].

Como se pode observar, a competição é tamanha, que apenas um centésimo de segundo separa os nadadores da conquista do ouro ou da prata. Esta diferença é tão pequena que nos faz refletir, procurando respostas para o que parece insignificante. Apenas um centésimo de segundo diferencia atletas de alto nível técnico. Contudo, ao analisar o resultado dos demais competidores, todos de excelente nível, uma vez que atingiram índice para participar desta competição ímpar, conclui-se que os tempos de todos os atletas se assemelham e que a competição é decidida no detalhe.

O que pode auxiliar um atleta de alto índice técnico a atingir o seu extremo? Como ele pode conseguir superar seus próprios limites?

Este trabalho visa a auxiliar o desenvolvimento dos atletas da natação, baseando-se no estudo do movimento biomecânico realizado pelo atleta dentro da água, por meio da imagem submersa.

A filmagem submersa acompanha o atleta durante o percurso dentro da piscina, possibilitando a análise dos movimentos executados dentro da água. Esta informação torna-se uma ferramenta útil para o treinador trabalhar possíveis desvios do atleta, visando a corrigi-los.

Filmar dentro da água com certeza não é nenhuma novidade. Atualmente existem diversos tipos de câmeras específicas para este fim. Também já existem no mercado “caixas estanques” que servem de proteção para câmeras e podem ser submersas com segurança. São impermeáveis e apresentam um custo mais acessível.

Ambos os sistemas citados anteriormente apresentam uma dificuldade no seu manuseio, exigindo a presença de um operador dentro da água para manuseá-los. Isto torna-se um problema, uma vez que o operador deve possuir conjunto autônomo para mergulho, vestimentas especiais, entre outros acessórios, elevando o custo da filmagem.

O objetivo proposto neste trabalho é projetar um mecanismo automatizado, ou seja, sem propulsão humana, que possibilite a evolução da câmera submersa no acompanhamento do movimento do nadador.

Os procedimentos adotados para desenvolvimento do trabalho foram alicerçados no intuito de criar um projeto de custo acessível e de fácil manufatura, que possa ser utilizado de maneira satisfatória para o fim a que se propõe.

Este trabalho se justifica pela necessidade da natação competitiva, cada vez mais, possuir subsídios para melhorar o desenvolvimento dos atletas. Justifica-se ainda, pelo interesse da Faculdade de Educação Física e

Esportes da Universidade Santa Cecília em possuir um equipamento desse tipo.

CAPÍTULO 1 – TEORIAS E TÉCNICAS APLICADAS NA NATAÇÃO COMPETITIVA

1.1 Apresentação

De acordo com a pesquisa de Marsola, na natação, os atletas empurram a água para movimentar seus corpos. O movimento na água apresenta, devido à sua densidade e viscosidade, resistências de maior intensidade em relação ao ar. A descrição matemática do movimento do atleta na água é mais trabalhosa, dificultando a elaboração de modelos para melhorar a propulsão do nadador dentro da água. [3]

Propulsão e arrasto (resistência da água) são os dois principais pontos de estudo da natação competitiva. Muitas teorias são desenvolvidas por especialistas, e cada vez mais aumenta o conhecimento a respeito. No entanto, ainda não se chegou a uma conclusão definitiva. [3]

O capítulo apresenta algumas técnicas e teorias para a natação competitiva, mas sempre com o objetivo maior de mostrar a necessidade da filmagem submersa como meio de análise biomecânica do movimento desenvolvido pelos nadadores dentro da água.

1.2 Resistência

Segundo Maglisco [7], muitos treinadores e nadadores costumam não valorizar a resistência que a água exerce sobre o corpo, focando apenas no mecanismo do nado, ou seja, nos tipos dos movimentos a serem executados para uma melhor propulsão. Ocorre, entretanto, que os nadadores podem aumentar bastante a sua eficiência se apenas reduzirem as forças de arrasto, causada pela resistência da água.

Levando em conta que para um nadador aumentar a sua força de propulsão (a qual exige um aprimoramento na mecânica do nado e um

treinamento para aumentar a sua potência), levaria algumas semanas, e que o arrasto pode ser reduzido em poucos minutos mediante uma mudança na orientação do seu corpo, vale frisar a importância da diminuição da resistência no nado.

1.2.1 Características que afetam o arrasto

1.2.1.1 Efeitos da Orientação do Corpo do Nadador

Considerando o corpo de um nadador em relação à água, o arrasto aumenta quanto menos paralelo o atleta estiver com referência à superfície da água. Isso ocorre, pois quanto mais inclinado o corpo do nadador estiver em relação ao movimento mais aumenta sua área de contato contra o fluxo laminar da água.

Este fato pode ser observado na figura 1.1, em que o nadador da esquerda está menos inclinado que o nadador da direita, ocorrendo assim uma menor área frontal contra o fluxo da água.

No entanto, a necessidade de gerar forças de propulsão não permite que os nadadores fiquem numa posição perfeitamente horizontal. Embora isso aumente o arrasto, esta pessoa inclinada aumenta a propulsão.

Portanto deve-se balancear a posição e força para se obter um nado mais veloz e eficiente.



Figura 1.1 – Diferença da área de contato dos nadadores, devido à posição horizontal [3].

1.2.1.2 Efeito da velocidade

Quanto maior a velocidade do nadador, maior a fricção e a turbulência causada pelos movimentos no nado e, sendo assim, aumentam a força do arrasto.

Como afirmou Maglischo, “O efeito da velocidade é tão potente que o dobro da velocidade de progressão irá quadruplicar o arrasto” [7].

A força de arrasto pode ser determinada por:

$$F_d = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot C_d$$

Equação 1.1

Onde:

F_d = Força de arrasto (N)

ρ = massa específica da água (Kg/m³)

A = Área de contato (m²)

V = velocidade (m/s)

C_d = Coeficiente de arrasto (adimensional)

O efeito da velocidade pode parecer ilógico, pois ninguém diminuiria sua velocidade para diminuir o arrasto, perdendo assim qualquer prova.

Porém, esse efeito mostra que é necessário saber ritmar o nado e usar isso ao seu favor, por exemplo, aumentando a velocidade no final de uma prova.

1.2.2 Alguns tipos de arrasto

- **Arrasto de forma** – Causado pelo porte e pela forma dos corpos dos nadadores no deslocamento propulsivo na água;

• **Arrasto de onda** – Causado pelas ondas que são geradas pelos nadadores durante o deslocamento;

1.2.2.1 Arrasto de forma

Esse tipo de arrasto é um produto da “forma” que o corpo do nadador assume ao se movimentar na água. É mais correto dizer “formas”, porque, conforme mencionado anteriormente, as formas que o corpo apresenta à água mudam constantemente ao longo de cada ciclo de braços. [3].

Nadadores com ombros largos e quadris e coxas estreitas teriam alguma vantagem em relação ao arrasto de forma se analisarmos os grandes nadadores. Porém, Marsola citando Clarys (1979) [3], não detectou qualquer relação entre a forma do corpo e o arrasto medido durante o ato de nadar.

Como já observado, a redução do arrasto depende da inclinação do corpo, ou seja, deve ser estabelecido um meio-termo para a posição horizontal de modo a não faltar profundidade suficiente para as pernas e nem aumentar tanto a área de contato com a água, conforme mostra a figura 1.2.

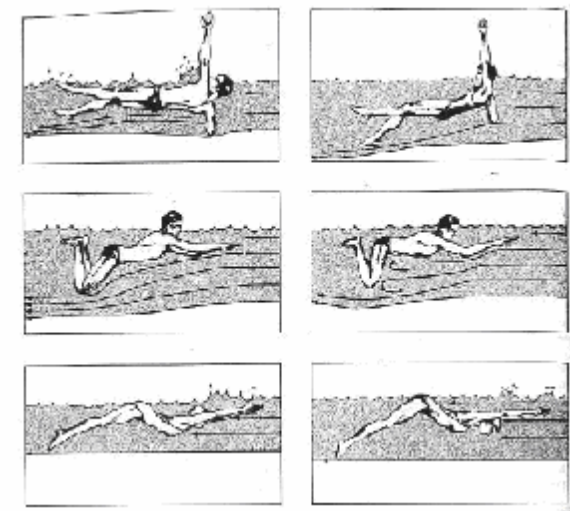


Figura 1.2 – Comparação das posições do corpo em três estilos de competição. Nadadores da esquerda apresentam um bom alinhamento e os da direita um mau alinhamento [3].

Os nados “crawl” e “costas” geram movimentos laterais, que quando em excesso, também aumentam o arrasto de forma, como podemos ver na figura 1.3:

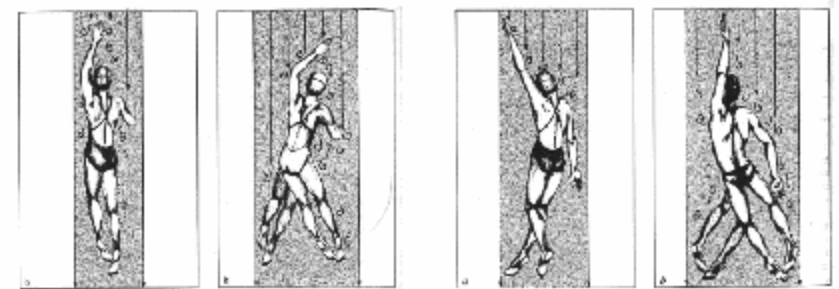


Figura 1.3 – Efeito dos movimentos laterais excessivos no nado crawl (à esquerda) e costas (à direita). [3].

1.2.2.2 Arrasto de onda

Algumas piscinas apresentam maior turbulência que outras devido ao tipo de construção, como também de raias inadequadas. As ondas formadas podem afetar o tempo de um nadador, porém não o resultado, já que todos os competidores sofrerão o mesmo efeito. O que se pode controlar são as ondas formadas pelos movimentos do próprio atleta.

À medida que o corpo se projeta para frente ou para o lado, no nado, a cabeça e o tronco do nadador geram as ondas de proa, diminuindo a velocidade.

Assim como no arrasto de forma, quanto maior a velocidade, maior o arrasto de onda.

Os nadadores praticantes dos nados “costas” e “crawl” freqüentemente criam um arrasto de onda quando empurram o dorso da mão para frente durante sua entrada na água. É muito melhor que a mão entre inclinada. Isso reduzirá a área da superfície frontal apresentada [3].

1.3 Propulsão

A princípio, acreditava-se que os movimentos das braçadas imitassem um remo ou até rodas de pás. Porém, observando os nadadores em submerso, pôde-se perceber que os braços dobravam durante a fase propulsiva das braçadas. Com essas observações surgiram várias teorias sobre propulsão, apresentadas por Marsola [3]:

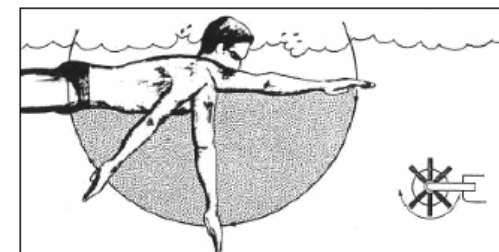


Figura 1.4 – Teoria da “roda de pá” da propulsão. [3].

Teoria de “Empurrar Direto para Trás para Ir para Frente”: J. E. Cousliman (1968) e C. E. Silvia (1970) acreditavam que a terceira lei dos movimentos de Newton era a principal lei física que os nadadores aplicavam à propulsão de seus corpos para frente, ou seja, quando os nadadores empurram a água para trás a água exerce uma força de igual magnitude que os empurra para frente. [3].

Teoria do “Movimento Sinuoso para Trás” – Algum tempo depois da teoria citada acima, Counsilman observou, através de fotografia submersa, que a mão não se deslocava retilineamente para trás por baixo do corpo. O movimento simulava a forma de um “S”, e é o que chamamos de movimento sinuoso.

Além destas, outras teorias surgiram tentando explicar o movimento propulsivo. Apesar do aumento do conhecimento, está longe de se chegar a uma conclusão definitiva.

São três os aspectos dos movimentos dos membros importantes para a propulsão na natação: direção, ângulo de ataque e velocidade.

Direção – determinada com base nos padrões de braçadas;

Ângulo de Ataque – determinado com base na inclinação das mãos e dos pés dos nadadores;

Velocidade – Velocidade das mãos e dos pés.

Varredura é o termo usado para melhor descrever os movimentos de braçadas. Com o estudo de filmes e videoteipes, pode-se definir quatro tipos de varredura:

- 1. Varredura para fora** – durante a parte submersa da braçada, o movimento inicial nos nados borboleta e peito;
- 2. Varredura para baixo** – durante a parte submersa da braçada, o movimento inicial usado nos nados crawl e costas.
- 3. Varredura para dentro** – o segundo movimento usado em todos os estilos de competição.
- 4. Varredura para cima** - o movimento final nos nados crawl e borboleta.

Na prática, os técnicos podem ter dificuldades na hora de avaliar os movimentos submersos dos seus atletas, como também o próprio nadador achar que está fazendo o movimento correto, podendo não estar. Contudo, notamos a necessidade e importância da filmagem submersa dos atletas em seus treinamentos.

Assim, analisando seus movimentos embaixo d'água e em tempo real, os técnicos poderão corrigir possíveis falhas durante os treinos.

CAPÍTULO 2 - ESTRUTURA MECÂNICA – DETALHAMENTO

2.1 - Sistema de translação do dispositivo de filmagem

No sistema que será implantado utilizaremos um sistema de translação no qual a câmera estará fixada em um carro mecânico e irá se deslocar pela lateral da piscina, proporcionando assim uma melhor imagem em seu trajeto.

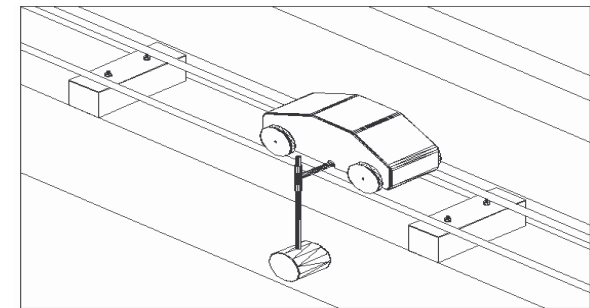


Figura 2.1 – Sistema de Filmagem

O dispositivo de filmagem será composto por um carro que percorrerá 36 metros à borda da piscina, tendo assim uma cobertura total da área necessária a ser filmada.

Para este sistema percorreremos três etapas:

- Desenvolvimento dos trilhos
- Desenvolvimento do carro
- Desenvolvimento do acionamento do carro.

2.1.1 - Desenvolvimento e memorial de cálculo do trilho.

O trilho que o carro percorrerá terá 36 metros de comprimento e será dividido em 6 módulos de 6 metros cada um. Esta divisão em módulos se

justifica na medida em que o equipamento será utilizado apenas em treinamentos, sendo necessário armazená-lo nos demais períodos. Além disso, seu transporte entre o local de armazenamento e a piscina torna-se mais simples do que o transporte de uma única peça de 36 metros de comprimento.

Para os gráficos apresentados a seguir foi determinado espaçamento entre apoios de 1.75m e 0.375m do apoio até a extremidade do perfil pelo motivo de não haver carga suficiente para danificar o perfil e possibilitar melhor estabilidade para o carro.

Módulo de 6 metros:

Dimensionamento dos trilhos quanto ao momento fletor e a flecha:

$$\sigma = \frac{\sigma_r}{F} \quad \text{Equação 2.1 – Tensão admissível}$$

onde :

σ = tensão admissível

σ_r = tensão limite de resistência

F = fator de segurança para aço 1020[4]

$$\sigma = \frac{41187,93 \text{ N/cm}^2}{5}$$

$$\sigma = 8237,58 \text{ N/cm}^2$$

Momento fletor (Mf) e flecha (f) (figura 2.2, em seguida). Ocorridos na extremidade da barra caso não sendo considerados críticos. Distância determinada no ponto 1 e 3 dada pela distância entre eixos do carro (em azul). Os pontos 1 e 3, representam a força gerada pelo peso do carro sobre os trilhos.

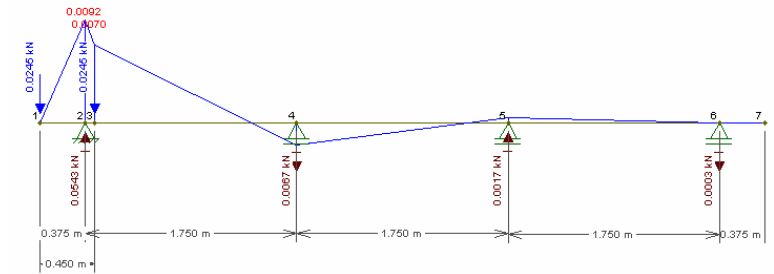


Figura 2.2 – Momento Fletor.

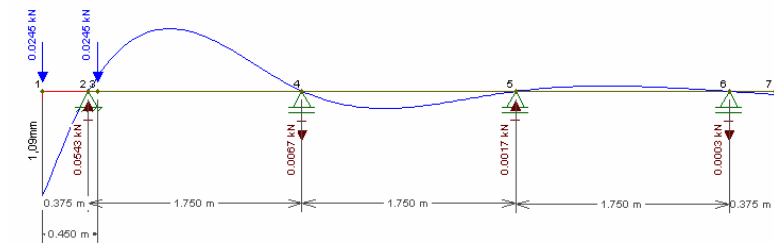


Figura 2.3 – Flecha.

Cálculo de Momento fletor (Mf) e flecha (f). Caso crítico onde ocorre o maior momento fletor. Distância determinada nos pontos 3 e 4 dados pela distância entre eixos do carro (em azul).

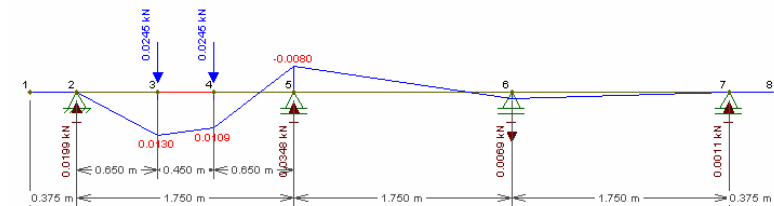


Figura 2.4 – Momento Fletor.

Considerando caso crítico apresenta-se o cálculo abaixo:

$$\sigma = \frac{4,12 \text{ N/m}^2}{5}$$

$$\sigma = 0,82 \text{ N/m}^2$$

Assim:

$$Mf_{\text{máx.}} = 13 \text{ N} \times \text{m}$$

Obs: Momento fletor retirado do gráfico.

Teremos:

$$Wx_{\text{min.}} = \frac{Mf}{\sigma} \quad \text{Equação 2.2 – Módulo de resistência}$$

onde :

Wx = módulo de resistência (cm^3)

Mf = momento fletor (Nm)

σ = tensão de ruptura (N/cm^2)

$$Wx_{\text{min.}} = \frac{13 \text{ Nm} \times 100 \text{ cm}}{8240,4 \text{ N/cm}^2 \times 1 \text{ m}} = 0,16 \text{ cm}^3$$

A partir do módulo de resistência calculado acima, adotou-se para os trilhos uma cantoneira 31,75mm x 31,75mm x 4,75mm, cujo módulo de resistência é igual a 1,15 cm^3 .

Para a cantoneira determinada acima, determina-se a maior flecha que pode ocorrer no vão de 1,750 m conforme figura 2.4 abaixo:

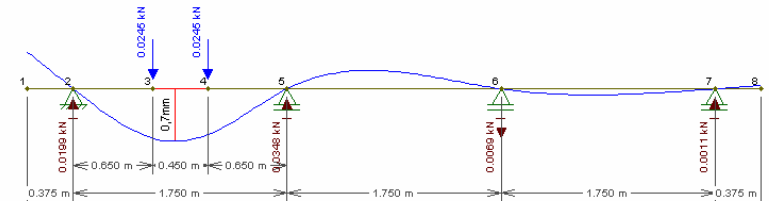


Figura 2.5 – Máxima flecha.

Maior flecha obtida foi de 0,7mm.

Cada módulo utiliza quatro apoios em polipropileno de dimensões 150mmx150mmx450mm. O conjunto terá uma massa total de aproximadamente 40 kg, conforme esquematizado na figura 2.5 abaixo:

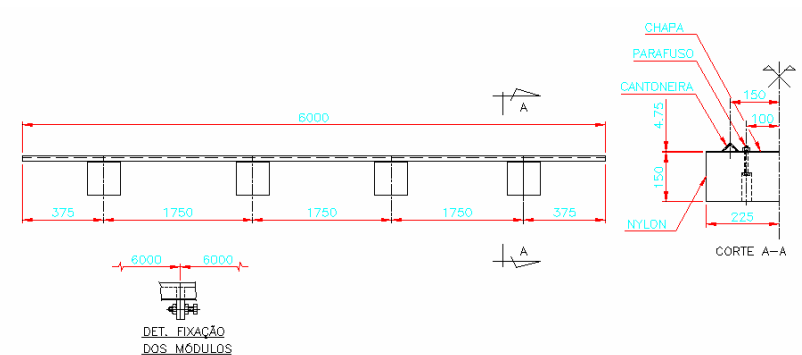


Figura 2.6 – Esquema do módulo e detalhe de fixação.

2.1.2 - Desenvolvimento do carro

O carro de translação terá sua estrutura em aço carbono comercial ASTM A-36, e será projetado para transportar o suporte da câmera, motor e bateria, dimensionado para que acompanhe a velocidade do atleta que se encontrar em movimento na piscina.

A sua estrutura terá os seguintes perfis:

- Perfil dobrado 25,4mm x 25,4mm x 3,175mm
- Chapas de espessura 3,175mm (1/8")
- 04 rodas em Pvc
- Engrenagem em Polipropileno
- Barras Ø 20mm

Massa total do carro é de aproximadamente 15 kg.

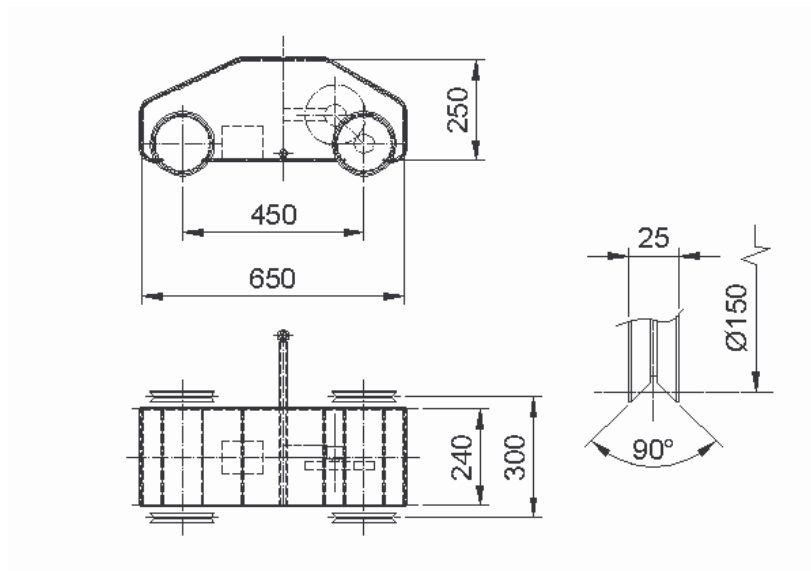


Figura 2.7 – Esquema e dimensões do carro.

2.1.3 - Desenvolvimento e memorial de cálculo do acionamento

O carro translada acionado pelo conjunto bateria e motor, e este conjunto é remotamente acionado, não expondo risco de corrente elétrica próxima à água.

A transmissão do movimento será feita através de engrenagens, uma vez que elas oferecem um melhor rendimento quando comparadas a outros meios de transmissão de potência e permitem pequenas distâncias entre eixo.

Cálculo do acionamento:

Força necessária para movimentar o carro pode ser dada através de:

$$F \geq F_{\text{atr}} + F_{\text{arr}} \quad \text{Equação 2.3 – Somatória de forças}$$

onde :

F = Força (N)

F_{arr} = Força de arrasto (N)

F_{atr} = Força de atrito (N)

Força de arrasto ocorrido em função da caixa estanque e braço (F_{arr}):

$$F_{\text{arr}} = 0,5 \times \rho \times A \times v^2 \times C_d \quad \text{Equação 2.4 – Força de arrasto}$$

onde :

ρ = massa específica da água $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

A = área (m^2)

v = velocidade $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

C_d = coeficiente de forma

O cálculo do coeficiente de forma é dado através de Reynolds, onde $1\text{E}3 < \text{Re} < 3,5 \times 1\text{E}5$ e o coeficiente de forma = 0,45.

$$\text{Re} = \frac{v \times dh}{\nu} \quad \text{Equação 2.5 – Equação de Reynolds}$$

onde :

Re = número de Reynolds ($\emptyset$)

v = velocidade $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

dh = diâmetro hidráulico (m)

ν = viscosidade da água $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)$

dh = diâmetro da caixa estanque (0,07m)

$$\text{Re} = \frac{2,6 \times 0,07}{10^{-6}} = 182000 \Rightarrow \text{Re} = 1,82 \times 10^5$$

A força de arraste será:

$$F_{\text{arr}} = 0,5 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,00385 \text{m}^2 \times \left(2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \times 0,45$$

$$F_{\text{arr}} = 5,85 \text{N}$$

Força de atrito (F_{atr}):

- 4 rodas em contato com o trilho

Cálculo para rodas movidas:

$$F_{\text{rol}} = \text{FN} \times \frac{f}{R}$$

Equação 2.6 – Equação do atrito

$$M_{\text{atr}} = \mu' \times \text{FN} \times \frac{d}{2}$$

Equação 2.7 – Equação do momento do atrito

onde :

Fn = força normal (N)

μ' = coeficiente de atrito

Matr = momento de atrito (N.m)

R_m = raio da roda (m)

f = braço de alavanca (m)

d = diâmetro da roda (m)

F_{rol} = força de rolamentoraço (N)

F_{rod} = força na roda (N)

$$F_{\text{rol}} = 36,78 \times \frac{0,00005}{0,05}$$

$$F_{\text{rol}} = 0,03678 \text{N}$$

$$M_{\text{atr}} = 0,0006 \times 36,78 \times \frac{0,1}{2}$$

$$M_{\text{atr}} = 0,011034 \text{N.m}$$

$$M_{\text{atr}} = F_{\text{rod}} \times R$$

$$F_{\text{rod}} = \frac{0,011034}{0,05}$$

$$F_{\text{rod}} = 0,22068 \text{N}$$

$$F = 0,22068 \times 2$$

$$F = 0,44136 \text{N}$$

Cálculo para rodas acionadas:

$$F_{\text{rol}} = FN \times \frac{f}{R}$$

$$M_{\text{atr}} = \mu' \times FN \times \frac{d}{2}$$

$$F_{\text{rol}} = 36,78 \times \frac{0,00005}{0,075}$$

$$F_{\text{rol}} = 0,02452 \text{ N}$$

$$M_{\text{atr}} = 0,0006 \times 36,78 \times \frac{0,15}{2}$$

$$M_{\text{atr}} = 0,016551 \text{ N.m}$$

$$M_{\text{atr}} = F_{\text{rod}} \times R$$

$$F_{\text{rod}} = \frac{0,016551}{0,075}$$

$$F_{\text{rod}} = 0,22068 \text{ N}$$

$$F = 2022068 \times 2$$

$$F = 0,44136 \text{ N}$$

$$F_{\text{atr}} = 0,44136 + 0,44136$$

$$F_{\text{atr}} = 0,8827 \text{ N}$$

$$F = 5,85 \text{ N} + 0,8827 \text{ N}$$

$$F = 6,73 \text{ N}$$

Desta forma, a força necessária será de 6,73N.

Potência necessária para movimentar o carro será dimensionada através de:

$$N = F \times v$$

Equação 2.8 – Cálculo da potência

onde :

N = Potência

F = Força necessária (N)

v = Velocidade ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

A rotação necessária para movimentação do conjunto será calculada através da velocidade máxima obtida por um atleta de natação que chega até 2,38m/s, assim será adotada uma velocidade de 2,6m/s.

Assim teremos:

$$N = 6,73 \text{ N} \times 2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N = 17,5 \text{ W}$$

Rotação na roda acionada:

$$v = \varpi \times r$$

$$v = 2 \pi n r$$

Equação 2.9 – Equação da velocidade

Onde :

v = velocidade ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

ϖ = velocidade angular ($\frac{\text{rad}}{\text{s}}$)

r = raio (m)

n = rotação (rpm)

$$n = \frac{v}{2 \pi r}$$

$$n = \frac{2,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 60 \text{ s}}{2 \pi 0,075 \text{ m} \times 1 \text{ min}}$$

$$n = 331 \text{ rpm}$$

Torque necessário para movimentar o carro:

$$T = F \times l \quad \text{Equação 2.10 – Torque necessário}$$

$$T = F \times l$$

T = torque (Nm)

F = força necessária (N)

l = braço de alavanca (m)

assim :

$$T = 6,73\text{N} \times 0,075\text{m}$$

$$T = 0,50\text{Nm}$$

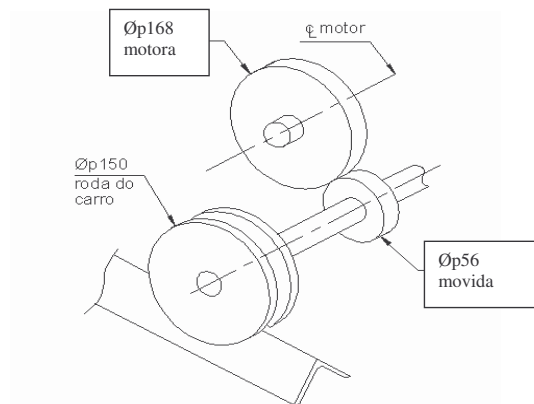


Figura 2.8 – Detalhe do sistema de transmissão.

Para atingir a rotação necessária para se obter uma velocidade de 2,6m/s é necessário utilizar uma relação de transmissão para ampliar a rotação fornecida pelo motor.

O cálculo da relação de transmissão será calculado por:

$$i = \frac{d2}{d1} = \frac{n1}{n2} \quad \text{Equação 2.11 – Equação da relação de transmissão}$$

onde :

i = relação de transmissão

d1 = diâmetro do pinhão (m)

d2 = diâmetro da coroa (m)

n1 = rotação necessária (rpm)

n2 = rotação do motor (rpm)

$$i = \frac{331}{110} = 3,01$$

Dimensionamento do sistema de transmissão de potência:

O material escolhido foi o polipropileno, pois possui boas propriedades mecânicas, baixo coeficiente de atrito, baixo ruído, boa resistência a produtos químicos (cloro presente na água das piscinas), baixa absorção de água que resulta em alta estabilidade dimensional e quando submetido à baixa carga não necessita de lubrificação. Outra vantagem é o baixo custo quando comparado com engrenagens metálicas.

As engrenagens de materiais polímeros vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado. Suas principais aplicações são:

Indústria automobilística: Componentes para mecanismos de cinto de segurança, ajustes de assento, sistemas de levantamento de vidro, teto solar;

Indústria de Eletrodomésticos: Carcaças, engrenagens, transmissões, rolamentos;

Construção de máquinas: engrenagens helicoidais, rolamentos, dispositivos de montagem, buchas, elementos deslizantes e correias transportadoras;

Indústria Eletrônica: teclados de telefone, carcaça de bobinas, interruptores, amortecedores,

suportes, fitas de vídeo cassete, dispositivo de montagem de placa;

Dispositivos médicos: partes do sistema do inalador e canetas de insulina.

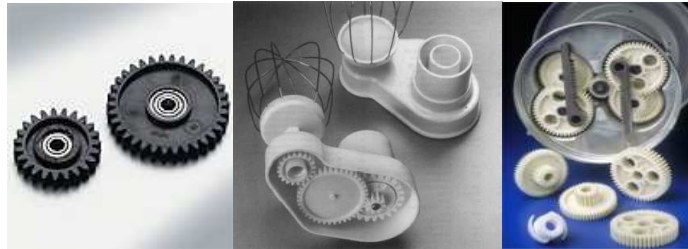


Figura 2.9 – Aplicações de engrenagens de polímeros.

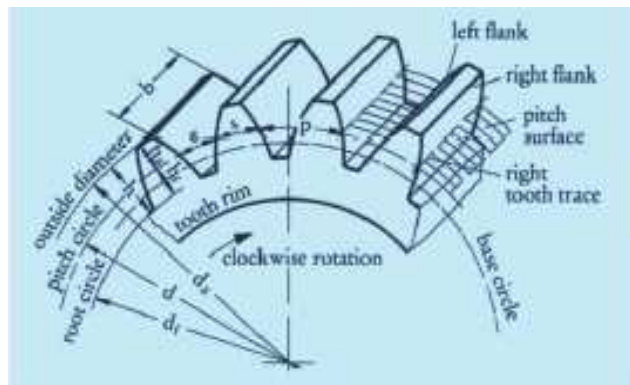


Figura 2.10 – Detalhamento da engrenagem [6]

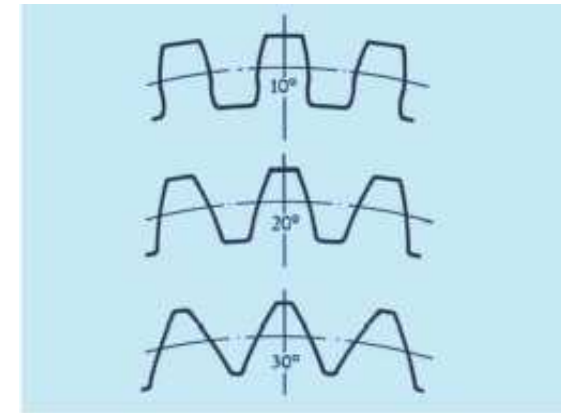


Figura 2.11 – Ângulos de pressão da engrenagem. [6]

O ângulo de pressão mais utilizado é o de 20°, pois resulta em melhor rendimento.

Utilizado engrenamento sem correção ($x=0$) e ângulo de pressão (α) 20°.

Número de dentes:

$$Z = \frac{D_p}{m}$$

Equação 2.12 – Cálculo do número de dentes da engrenagem

onde:

Z= Número de dentes

Dp= Diâmetro primitivo

m= módulo

Adotaremos módulo (m) = 1,75

$$Z_{\text{pinhão}} = \frac{168\text{mm}}{1,75\text{mm}} = 96\text{dentes}$$

$$Z_{\text{corôa}} = \frac{56\text{mm}}{1,75\text{mm}} = 32\text{dentes}$$

A tabela 2.1 abaixo mostra as características e dimensões do par de engrenagens projetadas para este acionamento:

Dimensionamento	Pinhão	Coroa	
Nº Dente	96,00	32,00	
Diametro primitivo	168,00	56,00	mm
Modulo	1,75	1,75	mm
Passo Primitivo	5,50	5,50	mm
Adendo	1,75	1,75	mm
Folga de Fundo de dente	0,44	0,44	mm
Dedendo	2,19	2,19	mm
Diametro da cabeça	172,08	60,08	mm
Diametro do pé	163,92	51,92	mm
Altura do dente	3,79	3,79	mm
Espessura	2,75	2,75	mm
Passo da base	2,15	2,15	mm
Rotação	110,00	330,00	rpm

Tabela 2.1 – Dimensões da engrenagem.

Verificação da capacidade do carregamento:

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot Y_F \cdot Y_\epsilon \leq \sigma_{FP} \quad \text{Equação 2.13}$$

onde:

σ_{FP} : Tensão admissível (N/mm²)

F_t : Força tangencial (N)

b: Comprimento do dente (mm)

m: módulo (mm)

Y_F : Fator de esbeltez do dente (ø)

Y_ϵ : Fator de carregamento (ø)

O valor do fator de carregamento é obtido através da figura 2.12a em função do número de dentes e da relação de transmissão.

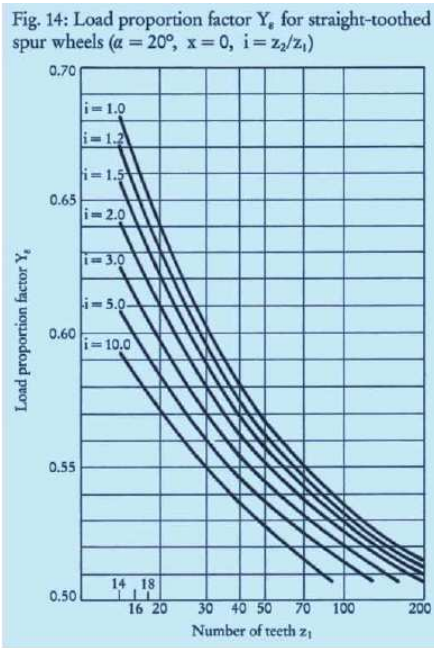


Figura 2.12a – Fator de carregamento [6]

Para o pinhão ($Z=32$), $Y_\epsilon=0,57$

Para a coroa ($Z=96$), $Y_\epsilon=0,52$

O fator de esbeltez é obtido através da figura 2.12b em função do número de dentes e da correção do adendo.

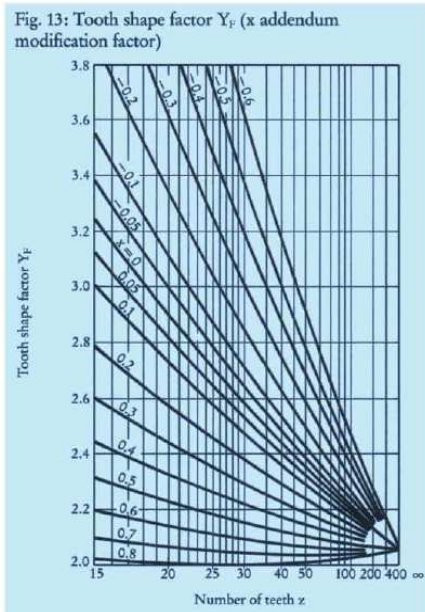


Figura 2.12b – Fator de esbeltez [6]

Para o pinhão ($Z=32$), $Y_F=2,7$

Para a coroa ($Z=96$), $Y_F=2,3$

$$\sigma_{F_{\text{Pinhão}}} = \frac{186}{21.1,75} \times 2,7 \times 0,57 = 7,79 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F_{\text{Coroa}}} = \frac{186}{21 \times 1,75} \times 2,3 \times 0,52 = 6,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{FP} = 19 \text{ N/mm}^2$$

Como $\sigma_F \leq \sigma_{FP}$ tanto no pinhão quanto na coroa, a condição está satisfeita.

Força exercida na roda motora:

ERROR: rangecheck
OFFENDING COMMAND: .buildcmap

STACK:

-dictionary-
/WinCharSetFFFF-V2TT9BF4ACCA
t/CMap
-dictionary-
/WinCharSetFFFF-V2TT9BF4ACCA
t