



isec

Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

**Estudo de Desgaste em Correntes de
Bicicleta**

DEFINITIVO

Autor

Rui Miguel Duarte Nunes Serra da Silva

Orientador

Professor Doutor Luís Filipe Borrego

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, janeiro de 2022



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo de Desgaste em Correntes de Bicicleta

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Rui Miguel Duarte Nunes Serra da Silva

Orientador

Professor Doutor Luís Filipe Borrego

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, janeiro de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço à empresa SRAMPort por me acolher durante a realização deste trabalho e fornecer todo o material necessário.

A todos os colaboradores da SRAMPort, por toda a ajuda prestada e conhecimentos transmitidos.

Ao Engenheiro Pedro Santos, pelos conhecimentos transmitidos e disponibilidade para a orientação deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luís Borrego, pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

À minha família por todo o apoio que me deram ao longo do meu percurso académico.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar o comportamento de desgaste em correntes de bicicleta e a sua influência no alongamento das mesmas.

Durante o mesmo são abordados os modos de falha típicas em correntes e o que determina a sua vida útil.

Este estudo baseou-se na análise de resultados de ensaios de desgaste realizados em laboratório e principalmente ensaios realizados no terreno, foi também analisada a influencia do tipo de utilização assim como a influencia dos revestimentos na evolução do alongamento das correntes.

Analisaram-se correntes de ensaios no terreno com várias percentagens de alongamento para compreender qual a evolução do desgaste dos seus diferentes componentes ao longo da sua vida útil.

Para esta análise foi definido um método de medição para os componentes, retirados de várias correntes utilizadas em ensaios no terreno e quantificado o seu desgaste para várias fases da vida útil de uma corrente.

Esta análise permitiu tirar algumas conclusões sobre a evolução do desgaste nas correntes, assim como influência do tipo de utilização. Também se concluiu que os componentes da corrente para além de desgaste, em certos casos podem também sofrer alguma deformação plástica.

O tratamento dos dados obtidos permitiu tirar algumas conclusões, no entanto para resultados mais consistentes serão necessários mais ensaios para se ter uma maior amostragem.

Palavras-chave: Correntes de bicicleta, desgaste, alongamento, revestimentos;

ABSTRACT

The main objective of this work was to study the wear behavior of bicycle chains and their influence on the chain elongation.

Typical chains failure modes have been addressed and what determines their service life.

This study was based on the analysis of results of wear tests performed on laboratory and mainly field tests.

The influence of the type of use as well as the influence of the coatings on the chain elongation was analyzed.

Field test chains with various elongation percentages were analyzed to see how they evolved over their lifetime.

A measurement method has been defined for the chain components.

Chain components of the various field test were measured to quantify the wear on each component at various stages of the chain life.

This analysis allowed us to draw some conclusions about the evolution of wear on the chains, as well as the influence of the type of use. It is also concluded that the components of the chain, in addition to wear, in certain cases can also experience some plastic deformation.

The treatment of the obtained data allowed to draw some conclusions, however for more consistent results more tests will be necessary to have a larger sample

Key words: bicycle chains, wear, elongation, coatings

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ABREVIATURAS	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. EVOLUÇÃO DA BICICLETA.....	3
3. TIPOS DE TRANSMISSÕES DE POTÊNCIA.....	7
3.1 Seleção do tipo de transmissão	7
3.2 Transmissão por correia	7
3.3 Transmissão por engrenagens.....	7
3.4 Transmissão por corrente	7
4 TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA NAS BICICLETAS.....	9
4.1 Tipos de transmissão de potência em bicicletas	9
4.2 Correntes de transmissão de potência em bicicletas.....	11
5. MODOS DE FALHA DAS CORRENTES DE BICICLETA	13
5.1 Modos de falha	13
5.1.1. Desgaste.....	13
5.1.2. “Corrente Aberta”	14
5.1.3. Quebra	14
5.1.4. Malhas com pontos duros	15
5.1.5. Fadiga	15
5.1.6. Corrosão	16
5.2. Distribuição aproximada dos modos de falha em correntes de bicicleta.....	16
6. DESGASTE.....	19
6.1 Definição de desgaste	19
6.2 Mecanismos de desgaste.....	19
6.2.1. Abrasão.....	20
6.2.2. Adesão	21
6.2.3. Erosão	21
6.3 Desgaste nas correntes.....	21
6.4 Fatores externos que influenciam o desgaste da corrente:	25
6.5 Fatores Internos que influenciam o desgaste das correntes.....	25
6.5.1 Design (forma e dimensão)	25

6.5.2 Materiais	25
6.5.3 Revestimentos.....	27
6.6 Cromo Duro (<i>Hard Chrome</i>).....	28
6.7 Alongamento das correntes	29
6.8 Medição do alongamento.....	30
7. ENSAIOS DE DESGASTE EM CORRENTES DE BICICLETA.....	33
7.1 Tipos de ensaios de desgaste	33
7.2 Ensaio de desgaste em laboratório	33
7.3 Ensaio de desgaste no terreno.....	37
8 Análise de correntes do terreno	41
8.1 Introdução da análise	41
8.2 Análise visual do desgaste nos componentes	42
8.3 Quantificação do desgaste nos componentes (Medições em placas interiores e pinos). 46	
9. CONCLUSÃO.....	59
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	63
Anexo 1 – Medição de pinos	63
Anexo 2 – Medição de placas interiores.....	64
Anexo 3 – Folha de calculo das medições.....	65
Anexo 4 – Medição pinos e placas corrente RED 22	66
Anexo 5 – Medição de pinos e placas corrente RED-D1	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Celerífero	3
Figura 2 - Draisiana	4
Figura 3 - Bicicleta de MacMillan	4
Figura 4 - Bicicleta Michaux	5
Figura 5 - Primeira bicicleta com corrente	5
Figura 6 - Bicicleta contruída por Starley	6
Figura 7 - Primeira bicicleta de montan	6
Figura 8 - Exemplo de transmissão atual	9
Figura 9 - Exemplos de outros tipos de transmissão	10
Figura 10 - Constituição corrente comum, Malca	11
Figura 11 - Constituição de uma corrente de bicicleta tipo "sedis", SRAM	11
Figura 12 - Gama de correntes fabricadas pela SRAM	12
Figura 13 - Componentes com desgaste, pino, placa interior e rolo por ordem	14
Figura 14 - Exemplo de corrente aberta	14
Figura 15 - Corrente com placa exterior partida	15
Figura 16 - Corrente com pontos duros	15
Figura 17 - Corrente com placas interiores partidas por fadiga	16
Figura 18 - Corrente com alguma corrosão nas placas	16
Figura 19 - Distribuição dos modos de falha em correntes de bicicleta	17
Figura 20 - Distribuição dos vários mecanismos de desgaste	20
Figura 21 - Abrasão a dois e três corpos respetivamente	21
Figura 22 - Angulo de rotação dos elos no engrenamento da corrente	22
Figura 23 - Vista em corte de uma corrente com pontos de desgaste assinalados	23
Figura 24 - Exemplo de desgaste por abrasão num pino	23
Figura 25 - Esquema de pontos de engrenamento e desengrenamento	24
Figura 26 - Camada de Crómio (assinalada a vermelho) vista ao microscópio com ampliação de 500X	29
Figura 27 - Mau engrenamento de corrente muito desgastada devido ao passo alongado	29
Figura 28 - Mesa de medição de correntes	30
Figura 29 - Ferramenta indicadora de desgaste recomendada pela SRAM	31
Figura 30 - Máquina de ensaios de desgaste	34
Figura 31 - Gráficos de ensaios de desgaste em laboratório	36
Figura 32 - Comparação da evolução do alongamento	37
Figura 33 - Comparação entre duas correntes utilizadas pelo mesmo ciclista	38
Figura 34 - Comparação de 11 vs. 12 velocidades em BTT	39

Figura 35 - Folha de calculo da diferença de largura de correntes de 11 e 12 velocidades	40
Figura 36 - Esquema de medição de correntes	47
Figura 37 - Zonas de medição	48
Figura 38 - Zona de medição dos pinos	49
Figura 39 - Zona de medição das placas interiores	49
Figura 40 - Zonas de medição dos pinos (A-medida original; B-medida gastos)	50
Figura 41 - Contribuição para desgaste por componente em correntes HC	53
Figura 42 - Contribuição para desgaste por componente em correntes FHC	55
Figura 43 – Furo de placa interior de corrente FHC com 0,83% de alongamento	56
Figura 44 - Furo de placa interior de corrente FHC com 0,09% de alongamento	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Revestimentos utilizados em correntes da SRAM	27
Tabela 2 - Comparação de ensaios no laboratório e no terreno	33
Tabela 3 - Correntes de ensaio no terreno utilizadas	42
Tabela 4 - Medições em pinos	50
Tabela 5 - Medições em placas interiores	51
Tabela 6 - Contribuição por componente numa corrente de 49 malhas	52
Tabela 7 - Percentagem de desgaste por componente em correntes HC	53
Tabela 8 - Percentagem de desgaste por componente em correntes FHC	54
Tabela 9 - Erro do alongamento teórico em relação ao alongamento real	52

ABREVIATURAS

BTT – Modalidade de ciclismo em todo-o-terreno;

FHC – Correntes com crómio duro (*Hard Chrome*) nos pinos, rolos e placas interiores;

HC – Correntes com crómio duro (*Hard Chrome*) apenas nos pinos;

Lc – Comprimento da corrente

ME – Malhas exteriores

MI – Malhas interiores

PI – Placa interior

PE – Placas Exterior

PVD – Processo de revestimento através de deposição de material vaporizado;

t – Tempo

y – Angulo entre dentes da roda dentada;

Z₁ – Número de dentes da roda dentada.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi elaborado no âmbito da avaliação final para obtenção de grau de mestre em Engenharia Mecânica, especialização em construção e manutenção de equipamentos mecânicos, lecionado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

O trabalho elaborado foi realizado com o apoio da empresa SRAMPort, que se dedica ao desenvolvimento e fabrico das correntes de transmissão de potência para bicicletas do grupo SRAM[®], sendo uma referência do seu sector a nível mundial.

O principal objetivo desta investigação foi estudar o comportamento a nível de desgaste de correntes em condições de serviço.

A contínua evolução tecnológica que tem ocorrido na área do ciclismo, tem conduzido a um aumento no número de marchas da transmissão e uma procura cada vez maior por produtos mais leves. Estas exigências por parte dos consumidores são cada vez mais um desafio para os fabricantes de correntes e de componentes na área do ciclismo em geral, pois a utilização de menor quantidade de material ou materiais mais leves acarreta por vezes problemas como resistência mecânica ou resistência ao desgaste.

O desgaste e a resistência mecânica das correntes são dos principais problemas e requerem, portanto, uma maior atenção visto que interferem com a durabilidade do produto e mais importante, com a segurança do utilizador.

A realização deste trabalho, direcionou-se para o desgaste de correntes onde foram analisados e comparados, vários ensaios de desgaste quer no laboratório, quer no terreno.

Relativamente às correntes que circulam no terreno foram analisados componentes isoladamente em várias fases da sua “vida”, para compreender a evolução do seu desgaste. Um dos objetivos foi comparar a evolução do desgaste nos componentes com e sem revestimento *Hard Chrome*, utilizado com o objetivo de conferir elevada dureza e elevada resistência ao desgaste.

2. EVOLUÇÃO DA BICICLETA

A bicicleta, conforme a conhecemos hoje, é composta por um quadro com duas rodas, movida por esforço do ciclista através de pedais onde o utilizador apoia os pés, que estão ligados à roda traseira por uma corrente, possuindo também um guiador ligado à roda dianteira que é direcionável. A bicicleta é considerada o veículo mais utilizado do mundo, e como durante a sua utilização não são emitidos gases poluentes para a atmosfera é visto como alternativa para deslocações de curtas distâncias em grandes cidades, para além de ser mais económico e promover um estilo de vida saudável. A bicicleta desde a sua invenção tem sido alvo de contínuas melhorias, a nível de performance, para utilizadores mais exigentes e para competição, mas também na sua ergonomia e conforto de modo a cativar novos utilizadores.

É difícil datar exatamente quando foi inventada a bicicleta, mas pensa-se que terá sido em 1790 quando o conde francês Sivrac inventou o “celerífero” (Figura 1). Tratava-se de um transporte rudimentar que era basicamente uma trave de madeira apoiada em duas rodas, com um assento e cuja locomoção era feita através de impulsos pelos pés do utilizador no solo. Na frente a servir de guiador era geralmente utilizada uma cabeça de leão ou de cavalo onde o utilizador apoiava as mãos. Este veículo era pesado, desconfortável e pouca vantagem tinha em relação a andar a pé.



Figura 1 – Celerífero

Em 1813 Charles Von Drais, barão de Sauerbron, de Karlsruhe (Alemanha), melhorou a invenção de Sivrac ao dotar o “celerífero” de um mecanismo de direção na roda dianteira, a que se deu o nome de “draisiana” (Figura 2).



Figura 2 - Draisiana

A invenção da bicicleta a pedais é atribuída ao ferreiro escocês Kirkpatrick MacMillan, em 1839, quando inventou um mecanismo ligado à roda traseira através de um sistema biela manivela. Este sistema, apesar de trazer melhorias face ao anterior, era pouco comodo e reduzia o angulo de viragem (Figura 3).



Figura 3 - Bicicleta de MacMillan

Em 1855 o francês Ernest Michaux adicionou à “draisiana” umas manivelas e pedais na roda dianteira, nascendo assim a bicicleta Michaux (Figura 4). Neste sistema de transmissão apesar de ser uma evolução face ao anterior, a desmultiplicação era feita através do uso de rodas grandes que não podiam ter o raio superior ao comprimento da perna do utilizador. As rodas grandes também faziam com que as bicicletas fossem pesadas e tivessem um elevado centro de gravidade, tornando-se instáveis.



Figura 4 - Bicicleta Michaux

Em 1868 Coube e André Guilmet substituíram os raios de madeira das rodas por raios de ferro. Nesse mesmo ano Meunier inventou o sistema de roda livre que permitia que a roda continuasse a rodar mesmo quando se deixava de pedalar.

Em 1869 surge a primeira bicicleta com transmissão por corrente inventada por Guilmet-Meyer (Figura 5).



Figura 5 - Primeira bicicleta com corrente

Em 1870 Belvalette inventou os travões de mola aos aros. Meyer apresentou um biciclo com rodas protegidas com bandas de borracha maciça e Vaucasson desenvolveu um mecanismo que permitia multiplicar a relação de transmissão.

Em 1880 o inglês Jas K. Starley construiu a primeira bicicleta “moderna” que evoluiu para o modelo atual, com rodas iguais, roda traseira motora e transmissão por corrente (Figura 6).



Figura 6 - Bicicleta contruída por Starley

Em 1888 o veterinário escocês John Boyd Dunlop inventou o primeiro pneu a ar.

Em 1891 os irmãos Michelin inventaram o pneu desmontável.

Em 1927 foi definitivamente adotado o sistema de mudanças de velocidade construído pela empresa italiana pertencente aos irmãos Neddu a que deram o nome de “Vitória”.

Nos anos 70, o americano Gary Fisher concebeu a primeira bicicleta de todo-o-terreno (Figura 7). Esta vertente do ciclismo ganhou uma enorme expansão, de tal modo que obteve o estatuto de modalidade olímpica incluída no programa dos Jogos Olímpicos de Atlanta em 1996.



Figura 7 - Primeira bicicleta de montanha

3. TIPOS DE TRANSMISSÕES DE POTÊNCIA

3.1 Seleção do tipo de transmissão

Na transmissão de potência entre veios há várias hipóteses possíveis, sendo necessário selecionar a mais adequada ao serviço a efetuar. Os principais tipos de transmissão de potência são as transmissões por correia, transmissões por corrente e transmissões por engrenagens. Cada um destes tipos de transmissão possui vantagens e desvantagens em relação aos outros e há fatores que se devem ter em consideração para a sua correta seleção, tais como distância do entre eixo, potência a transmitir, relação de transmissão, custo, ambiente de funcionamento, manutenção, etc.

3.2 Transmissão por correia

As correias são elementos flexíveis que podem ser compostas por vários materiais e formas, sendo geralmente constituídas por fibras têxteis ou metálicas, revestidas por borracha. Uma transmissão por correia é geralmente composta por um par de polias, uma motora (ligada ao motor) e outra movida (ligada ao equipamento a mover), ligadas por uma correia. As correias são divididas em três tipos: correias planas e trapezoidais que funcionam por atrito e correias dentadas que funcionam por contacto geométrico. São geralmente utilizadas para transmissão de baixas potências. O seu funcionamento é silencioso, não necessitam de lubrificação e o seu custo é baixo.

3.3 Transmissão por engrenagens

A transmissão faz-se através de um conjunto de engrenagens e é muito utilizada quando a potência a transmitir ou velocidade de rotação é elevada. Possui uma elevada compacidade e baixa manutenção, mas é a solução com o custo mais elevado e tem de ser isolada do ambiente externo.

3.4 Transmissão por corrente

Este tipo de transmissões é normalmente constituído por um par de rodas dentadas, uma movida e uma motora, ligadas por uma corrente. Existem vários tipos de correntes: correntes de rolos (são as mais comuns), correntes de buchas (sem rolos), correntes duplas e triplas, entre outras. Este tipo de transmissão tem um elevado rendimento, entre 96 e 98%, e mantém a relação de transmissão constante, uma vez que não há escorregamento. Permitem transmitir potências elevadas e, necessitam de lubrificação e limpeza periódica caso estejam expostas a contaminantes. São muito utilizadas em máquinas industriais e agrícolas, automóveis, motociclos e bicicletas.

4 TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA NAS BICICLETAS

4.1 Tipos de transmissão de potência em bicicletas

A transmissão das bicicletas tem vindo a evoluir com a evolução da própria bicicleta. Como referido anteriormente, já foi movida através de impulso dos pés diretamente no solo, através de pedais ligados por alavancas diretamente na roda da frente, sistemas de biela manivela ligados à roda de trás, até aos sistemas atuais.

A transmissão de uma bicicleta varia de modalidade para modalidade. Geralmente é utilizada a transmissão por corrente, que pode ir desde um sistema, mais simples como no caso das bicicletas de BMX que apenas possuem um prato na pedaleira e uma roda dentada na roda de trás, unidos por uma corrente, até à mais complexa como nas bicicletas de estrada e BTT que possuem várias relações de transmissão, tendo para isso desviadores à frente (junto à pedaleira) e atrás (junto à cassete). Atualmente em BTT os desviadores dianteiros estão a cair em desuso e a maioria dos fabricantes de bicicletas já oferece soluções apenas com desviador traseiro. A figura 8 ilustra um sistema de transmissão típico nos dias de hoje numa bicicleta de estrada.

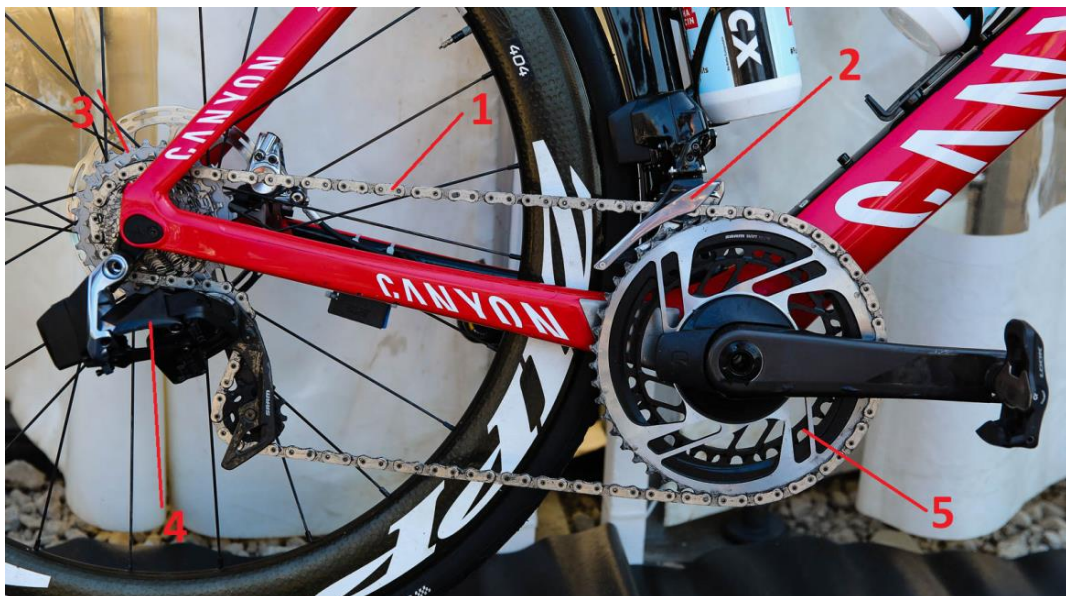


Figura 8 - Exemplo de transmissão atual

Componentes de uma transmissão típica:

- 1- Corrente;
- 2- Desviador dianteiro;
- 3- Cassete;
- 4- Desviador traseiro;
- 5- Pedaleira;

Outros tipos de transmissão são também utilizados, no entanto com muito menor adesão por apresentarem mais desvantagens. Na figura 9 representam-se alguns desses tipos de transmissão.

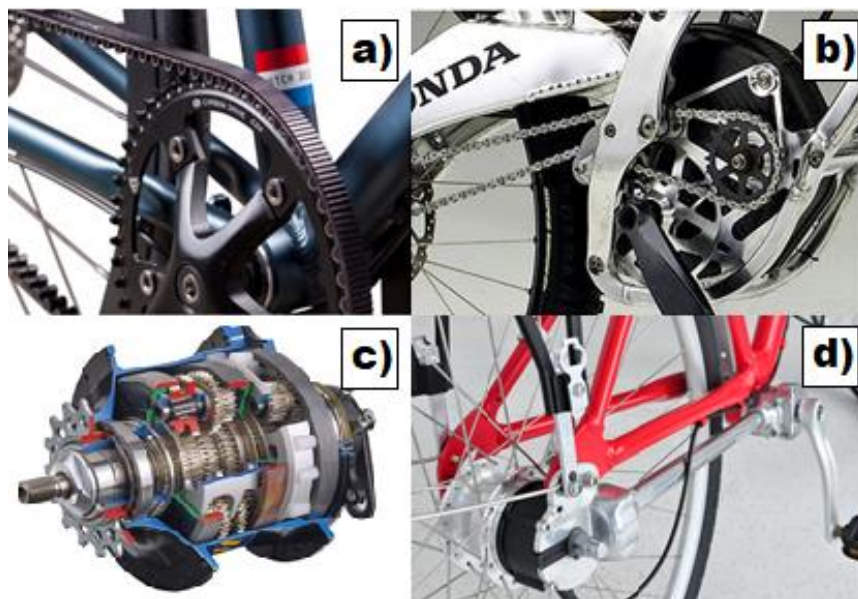


Figura 9 - Exemplos de outros tipos de transmissão

Transmissões por correia (a), não permitem trocas de marcha, têm menor durabilidade, menor rendimento e necessitam de ser tensionadas. Caixas de velocidades (c), como se trata de sistemas fechados têm a vantagem de não serem afetados pelo meio ambiente, no entanto apresentam um elevado peso, sendo apenas utilizados em modalidades em que o peso não é importante, como por exemplo na modalidade “*downhill*”. Transmissões por eixo (d), em que a transmissão é feita através de um eixo ligado entre a pedaleira e a roda traseira, tendo como vantagem a baixa necessidade de manutenção, no entanto são sistemas pesados.

4.2 Correntes de transmissão de potência em bicicletas

Nas bicicletas com transmissões mais simples, como as de apenas uma velocidade, são utilizadas correntes de rolos normais como a da (figura 10), onde podemos ver os seus constituintes.

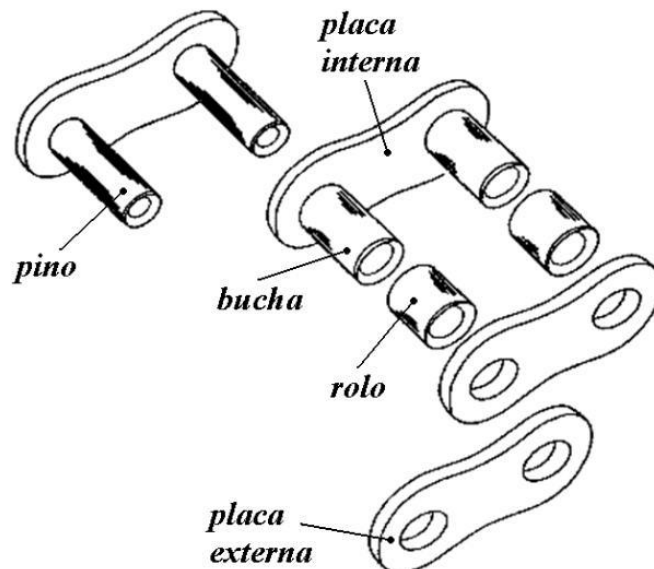


Figura 10 - Constituição corrente comum, Malça, C. (2014)

No entanto no caso das transmissões das bicicletas “modernas”, devido ao grande número de rodas dentadas (12 atualmente) presente na cassete, a corrente tem de suportar grandes desalinhamentos laterais “flecha”. Para tal foi desenvolvida a corrente do tipo “sedis”, idêntica à corrente de rolos, mas a bucha é estampada diretamente nas placas interiores (figura 11). Este tipo de construção permite que as correntes sejam mais flexíveis, mais leves, mais estreitas, mais simples e com menor custo de produção.

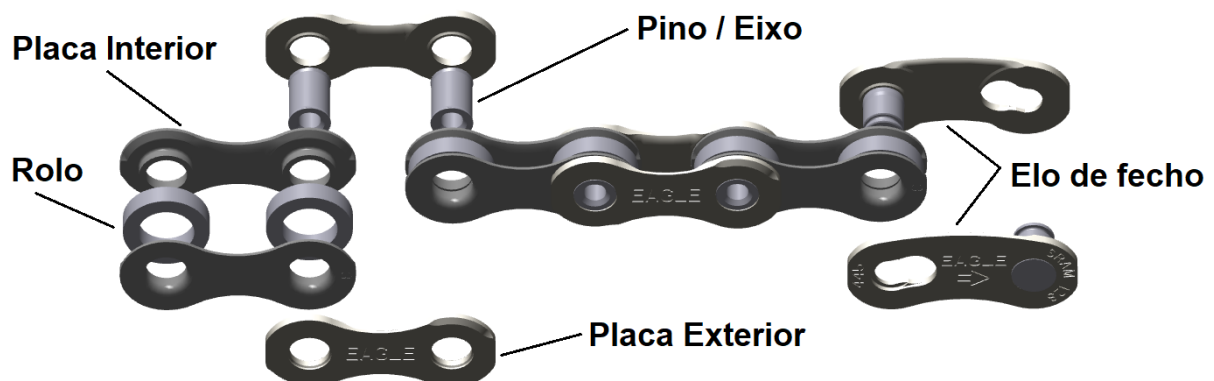


Figura 11 - Constituição de uma corrente de bicicleta tipo "sedis", SRAM

Atualmente os vários fabricantes de correntes disponibilizam no mercado uma vasta gama de correntes adequadas a todas as vertentes do ciclismo e a todos os utilizadores, desde o ocasional aos mais profissionais e exigentes que procuram sempre por um produto superior. No caso da SRAM é disponibilizada uma vasta gama de correntes, para diferentes plataformas, desde as mais simples de uma velocidade até às mais modernas, de 12 velocidades (Figura 12). Dentro da mesma plataforma (número de velocidades) dispõe-se de várias opções que variam entre si algumas características como peso, revestimentos, cor, preço, etc.

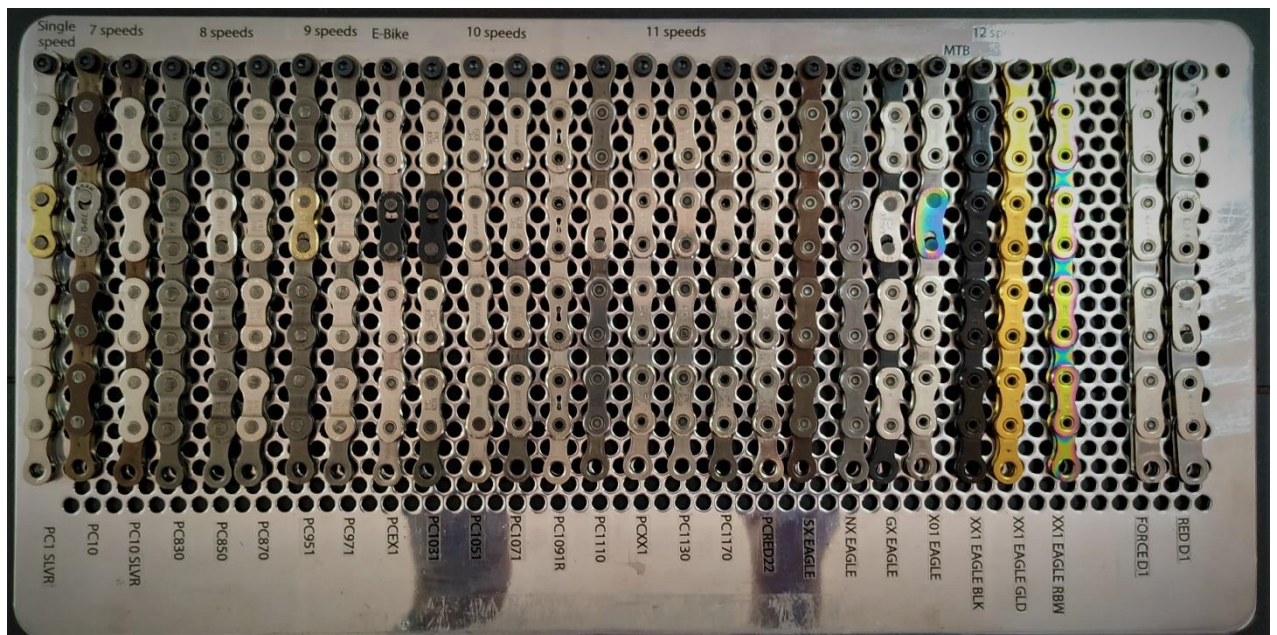


Figura 12 - Gama de correntes fabricadas pela SRAMPort

5. MODOS DE FALHA DAS CORRENTES DE BICICLETA

5.1 Modos de falha

Todos os equipamentos mecânicos possuem vários modos de falha possíveis que levam à sua substituição/reparação. Quanto mais complexo um determinado equipamento for, mais modos de falha possíveis existem. É importante conhecer os tipos de falha mais comuns de modo a melhorar a fiabilidade do sistema, e como tal, as correntes não são exceção.

Baseado em dados relativos às correntes fabricadas pela SRAMPort, embora se acredite que no geral para outros fabricantes de correntes também sejam os mesmos, visto que se trata de produtos idênticos e com processos de fabrico semelhantes, os seguintes modos de falha são os predominantes:

5.1.1. Desgaste

Este é sem dúvida o modo principal de falha das correntes, pelo qual estas normalmente devem ser substituídas, e o que se aborda nesta investigação. O desgaste numa corrente ocorre sobretudo no contacto pino/bucha, bucha/rolo e placa interior/placa exterior. No caso das correntes de bicicleta em que as buchas são estampadas diretamente nas placas interiores, o contacto é entre pino/placa interior, placa interior/rolo e placa interior/placa exterior. Ao ocorrer desgaste entre os componentes de uma corrente esta alonga o seu comprimento, fazendo com que aumente o seu passo deixe de engrenar corretamente nas rodas dentadas. Tipicamente uma corrente de rolos comum considera-se gasta quando esta alonga 2% do seu comprimento inicial. Nas correntes de bicicletas esse limite é mais baixo e é comum os fabricantes recomendarem a sua substituição quando estas apresentam entre 0,5% e 0,8% de alongamento em relação ao comprimento inicial (0,8% no caso das correntes da SRAM).



Figura 13 - Componentes com desgaste, pino, placa interior e rolo por ordem

5.1.2. "Corrente Aberta"

Ocorre quando a placa exterior se separa do eixo na zona de rebiteagem. Este tipo de falha pode ser provocado por diversos fatores sendo o mais comum durante as trocas de marcha em esforço elevado. Pode ainda dar-se o caso de existir algum defeito na rebiteagem do eixo com a placa exterior.



Figura 14 - Exemplo de corrente aberta

5.1.3. Quebra

A quebra de uma corrente pode ocorrer quando um ou mais componentes desta sofrer rotura. A rotura pode ocorrer por: defeitos do material (inclusões e fendas), defeitos no fabrico dos componentes (estampagem e tratamentos térmicos), defeitos provocados na montagem dos componentes (rebiteagem) ou se durante a utilização for aplicada uma força superior à que a corrente consegue resistir.

Os componentes que partem e que dão origem à separação da corrente e perda da sua função são por ordem decrescente de ocorrência: placas exteriores partidas (figura 15), placas interiores partidas e finalmente pinos partidos.



Figura 15 - Corrente com placa exterior partida

5.1.4. Malhas com pontos duros

Ocorre quando um ou mais elos da corrente ficam presos, ou seja, as placas interiores não se conseguem mover em relação às placas exteriores. Este defeito ocorre tipicamente por redução ou eliminação da folga existente entre os componentes, geralmente devido à formação de “rebarbas” nas placas interiores resultantes de trocas de marchas, ou devido a empenos nas placas.



Figura 16 - Corrente com pontos duros

5.1.5. Fadiga

As correntes estão sujeitas a tensões cíclicas assim como a vibrações. Como tal pode ocorrer a iniciação e/ou propagação de fendas que ao fim de um determinado número de ciclos a secção resistente poderá não resistir às cargas aplicadas o que levará à sua quebra. No entanto, este tipo de falha é mais comum em equipamentos industriais onde há um elevado nível de vibração e de choques. Quando ocorre nas correntes de bicicleta, a falha manifesta-se geralmente nas placas interiores, na zona indicada na foto (seta vermelha na figura 17).

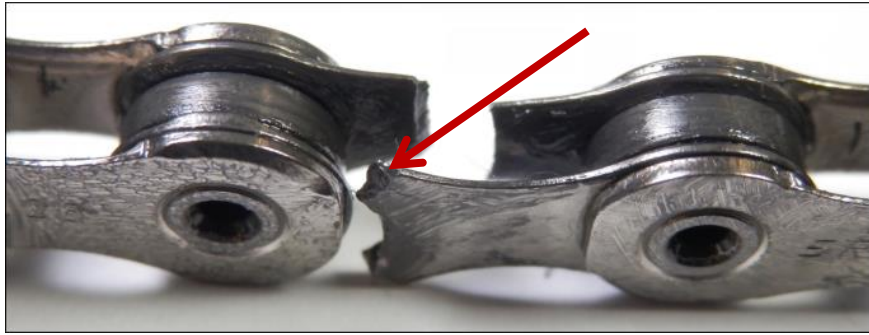


Figura 17 - Corrente com placas interiores partidas por fadiga

5.1.6. Corrosão

Devido ao contacto com o meio ambiente, as correntes podem sofrer corrosão, principalmente as que estão sujeitas a ambientes com elevada humidade, como por exemplo em regiões costeiras, ou regiões com climas frios onde geralmente é utilizado sal para a limpeza de estradas, etc. A corrosão pode por si só ser um problema para a corrente, quer por motivos estéticos, quer por formação de pontos duros impedindo o seu correto funcionamento. Pode ainda potenciar os outros modos de falha, assim como fadiga por corrosão, ou quebra devido ao aumento da fragilidade do material.



Figura 18 - Corrente com alguma corrosão nas placas

5.2. Distribuição aproximada dos modos de falha em correntes de bicicleta

O sectorgrama da figura 19 mostra a distribuição aproximada entre os principais modos de falha que podem ocorrer em correntes de bicicleta.

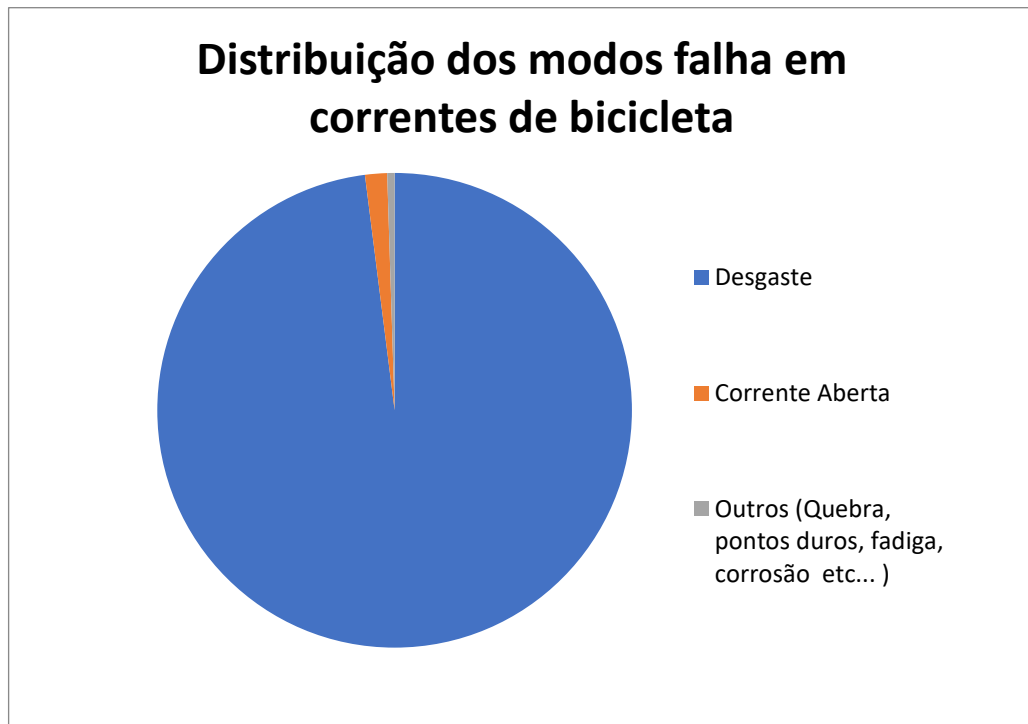


Figura 19 - Distribuição dos modos de falha em correntes de bicicleta, SRAM

6. DESGASTE

6.1 Definição de desgaste

A partir deste capítulo a investigação direcionar-se-á para este modo de falha, no qual se irá abordar um pouco os diferentes modos de desgaste e de seguida mais especificamente no desgaste em correntes, entre que componentes ocorre e quais as suas consequências.

O desgaste ocorre por consequência do movimento relativo entre duas superfícies em contacto, ou pela ação de agentes na superfície, de natureza mecânica e/ou química e tem como resultado a perda de sucessivas camadas externas de material (Carrapichano, 2019).

Existem três leis de desgaste, são elas:

- 1- O volume de desgaste é diretamente proporcional à distância de deslizamento.
- 2- O volume de desgaste é diretamente proporcional à carga normal.
- 3- O volume de desgaste é inversamente proporcional à dureza do material mais macio.

6.2 Mecanismos de desgaste

A remoção de material pode ocorrer segundo vários mecanismos, pelo qual é classificado: desgaste por adesão, desgaste por erosão e desgaste por abrasão.

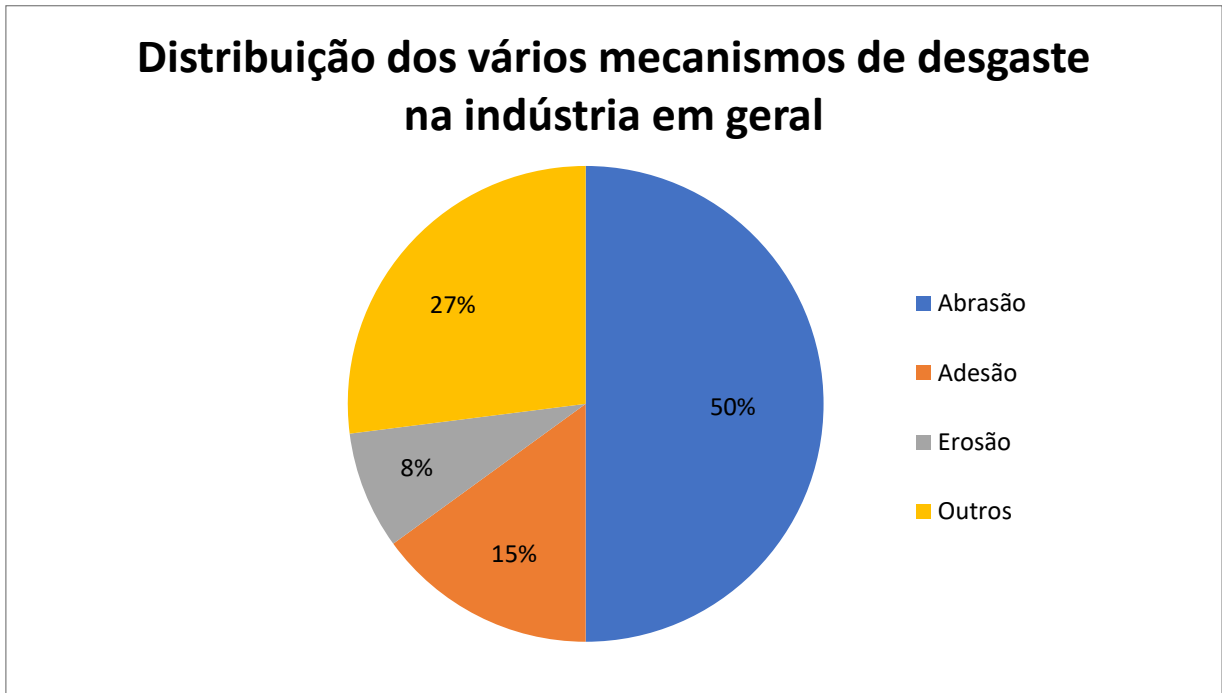


Figura 20 - Distribuição dos vários mecanismos de desgaste

6.2.1. Abrasão

Este tipo de desgaste acontece devido ao movimento relativo entre duas superfícies em contacto. O material de uma superfície é removido ou deslocado por partículas duras, ou acontece numa superfície macia quando sobre esta penetram inclusões ou contacta com superfícies rugosas de um material mais duro. O desgaste por abrasão é o tipo de desgaste predominante, provocando perdas significativas de material com grande incidência na agricultura, exploração mineira e indústria, que conduz a elevados custos (em países industrializados, 1 a 4% do PIB). A abrasão pode ocorrer “a dois corpos” quando resulta da rugosidade de uma superfície dura, ou o abrasivo se encontra fixo numa das superfícies, provocando, sulcos paralelos no sentido do deslocamento na superfície mais macia. A abrasão pode ser também “a três corpos”, quando o abrasivo está entre as superfícies, com liberdade de movimentos, provocando perdas muito menores.

A abrasão ocorre fundamentalmente por três mecanismos: microdeformação, microcorte e microfratura. Este último ocorre principalmente em materiais duros, como os materiais cerâmicos.

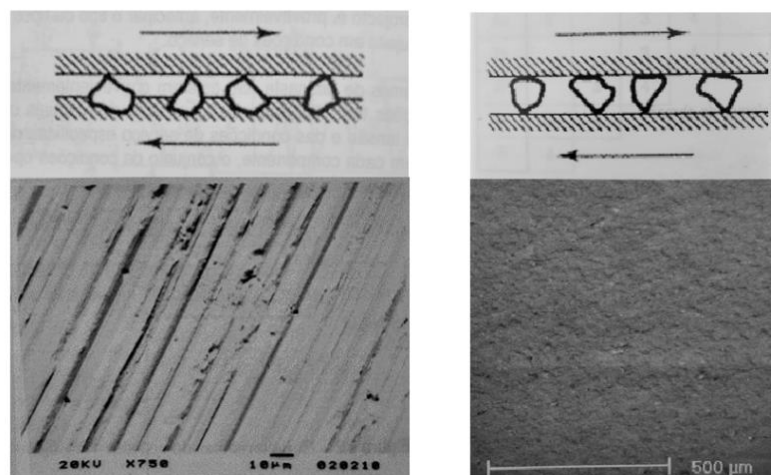


Figura 21 - Abrasão a dois e três corpos respetivamente

6.2.2. Adesão

O deslizamento entre duas superfícies ocorre por vezes sob elevadas pressões, resultando na deformação plástica, de ambas, ou pelo menos da superfície constituída pelo material mais macio. Devido a esta deformação podem formar-se junções por adesão e com o prosseguir do deslizamento pode ocorrer a rotura das junções, podendo haver transferência de material da superfície menos resistente para a outra.

6.2.3. Erosão

O desgaste por erosão dá-se quando partículas solidas, líquidas ou gasosas em movimento colidem com uma superfície. Estas colisões provocam deformações plásticas na superfície e até arrancamento de material. Este tipo de desgaste é influenciado por fatores como: velocidade de embate, angulo de incidência, massa das partículas, reatividade química, temperatura ou tipo de agente erosivo.

6.3 Desgaste nas correntes

Segundo trabalhos anteriores (Figueiredo, 2009) verificou-se que o desgaste de correntes ocorre sobretudo por abrasão.

O desgaste nas correntes ocorre devido ao deslizamento de superfícies e/ou também desgaste a dois corpos, devido à presença de partículas externas ao sistema, que se infiltram entre os componentes. Apresentando estas partículas uma dureza superior à do metal constituinte das correntes, o seu deslizamento provoca sulcos por arrancamento de material.

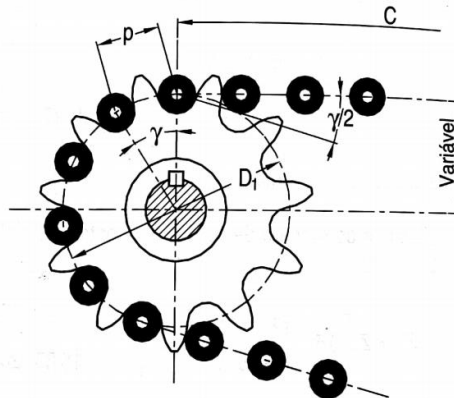


Figura 22 - Ângulo de rotação dos elos no engrenamento da corrente

O ângulo de rotação das placas interiores relativamente aos pinos é dado por $y/2$, Z_1 representa o número de dentes em que o ângulo é tanto maior quanto menor o número de dentes da roda dentada.

$$y = \frac{2 \cdot \pi}{Z_1} \quad (1)$$

Numa corrente podemos dividir os contactos de desgaste em duas categorias:

- Os que provocam alongamento da corrente, contacto entre pino e placa interior
- Os que não provocam alongamento da corrente, contacto entre placas interiores e exteriores e o contacto entre os rolos e placas interiores. O desgaste nestes contactos apesar de não contribuir para o alongamento da corrente, é prejudicial ao bom funcionamento da transmissão, uma vez que aumenta a folga lateral reduzindo assim a precisão nas trocas de marcha.

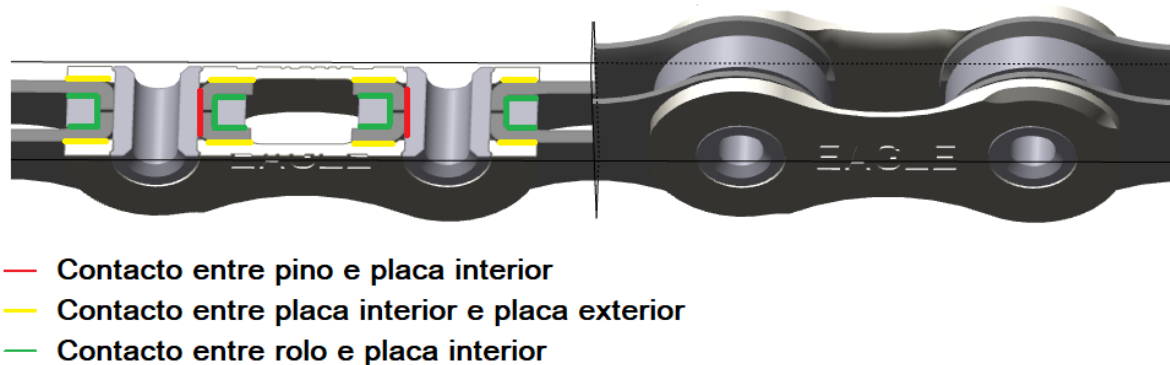


Figura 23 - Vista em corte de uma corrente com pontos de desgaste assinalados

Através da análise das superfícies com um equipamento de ampliação, identificam-se sulcos na direção do movimento e paralelos entre si, indicando a presença de desgaste por abrasão.



Figura 24 - Exemplo de desgaste por abrasão num pino

Nas correntes o desgaste por abrasão ocorre devido ao deslizar de uns componentes relativamente a outros e sobretudo devido a agentes externos com elevada capacidade abrasiva (poeiras, lama, etc.) que se infiltram entre estes. Quando estão em serviço as correntes entram em contacto com variados contaminantes como, poeiras, lama, água, juntamente com óleo de lubrificação e partículas provenientes do

desgaste que provocam abrasão dos componentes da corrente e também dos componentes em contacto com esta (pratos da pedaleira, cassetes e desviadores).

Em estudos anteriores (Figueiredo, 2009), foram analisados resíduos de correntes usadas com a finalidade de perceber quais esses agentes externos. As correntes foram selecionadas de forma a abranger vários tipos de ambiente, foram limpas por ultrassons e a solução obtida foi filtrada. As partículas resultantes foram analisadas em microscópio eletrónico e concluiu-se que tinham dimensão relativamente uniforme e inferior a 150 μm . Foram também analisadas quimicamente e para além das partículas resultantes do desgaste (ferro, níquel, zinco, molibdénio e alumínio) foram também encontradas partículas do meio ambiente principalmente carbonato de cálcio e sílica. São estas partículas do meio ambiente que devido à sua elevada dureza, superior à do metal constituinte da corrente, provocam abrasão por micro corte nas superfícies onde ocorre deslizamento.

Durante o funcionamento da corrente a posição pino/placa interior é geralmente estacionária, no entanto no engrenamento e desengrenamento com as várias rodas dentadas presentes nas transmissões estes têm de rodar um em relação ao outro para se ajustarem ao seu raio de curvatura (pratos pedaleira, cassete e polias do desviador traseiro). Na (figura 25) estão indicados os pontos mencionados.

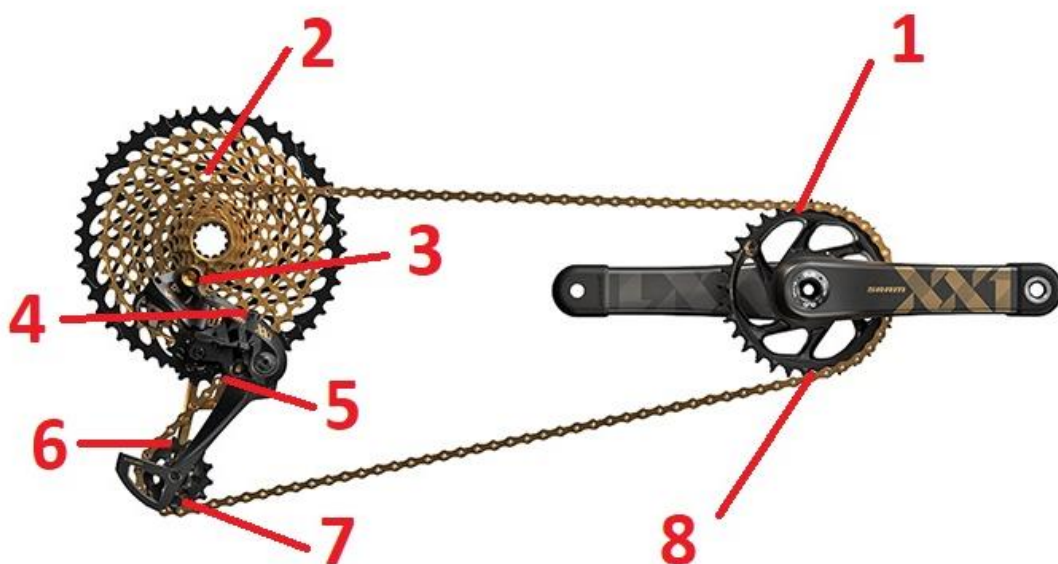


Figura 25 - Esquema de pontos de engrenamento e desengrenamento

Observam-se então os pontos 1, 3, 5 e 7 como pontos de engrenamento e os pontos 2, 4, 6 e 8 como pontos de desengrenamento da corrente nas rodas dentadas.

Tendo em conta que na zona “inferior” da transmissão não existem grandes forças aplicadas, apenas o peso da corrente e uma pequena tensão exercida pela polia do

desviador traseiro, é possível concluir que a quase totalidade do desgaste é provocado nos pontos 1 e 2 onde estão grandes forças aplicadas.

6.4 Fatores externos que influenciam o desgaste da corrente:

- Potência aplicada (forma física, peso do ciclista, etc.);
- Limpeza e manutenção dos componentes;
- Tipo de terreno (orografia e composição);
- Condições atmosféricas;
- Outros;

6.5 Fatores Internos que influenciam o desgaste das correntes

O correto funcionamento da transmissão de uma bicicleta depende da interação dos variados componentes entre si. Como tal, realizam-se vários testes com os grupos de transmissão completos para se avaliar possíveis incompatibilidades. Ou seja, o desenvolvimento do grupo de transmissão é feito como um todo, de modo que todo o grupo de transmissão tenha a maior durabilidade possível, tendo de se fazer alguns compromissos em alguns componentes para não prejudicar os outros. No caso das correntes as propriedades internas que influenciam o desgaste são:

6.5.1 *Design* (forma e dimensão)

A forma e as dimensões dos componentes têm influência não só no desgaste dos outros componentes, como os pratos e as cassetes, bem como entre os vários componentes da corrente. Ao maximizar a região de contacto entre os vários componentes, a força aplicada é distribuída por uma área superior, diminuindo assim a pressão de contacto por unidade de área, o que por sua vez reduz a taxa de desgaste entre os componentes. A geometria do contacto tem também de ser cuidadosa de modo a evitar contactos angulosos que possam danificar outros componentes.

6.5.2 Materiais

A escolha do material é fundamental para conferir boas propriedades mecânicas às correntes. Para ter uma boa resistência ao desgaste deve utilizar-se um material duro, no entanto quanto mais duro for, menor será a ductilidade e tenacidade dos componentes. Como tal a escolha do material tem de ser um compromisso entre as várias características necessárias avaliando-se as vantagens de desvantagens de cada um. São geralmente utilizados aços carbono que permitam fazer tratamentos

térmicos de endurecimento, com percentagem de carbono compreendida entre 0,2 e 0,65%, dependendo do componente.

Propriedades conferidas pelo Tratamento Térmico

Os tratamentos térmicos são realizados de modo a conferir melhores propriedades ao metal. Para melhorar a resistência ao desgaste geralmente utilizam-se processos que aumentem a dureza superficial, por forma a não comprometer outras propriedades do metal. Nas correntes utiliza-se geralmente o processo de tempera para aumentar a dureza, seguido do processo de revenido para reduzir as tensões internas criadas no material pelo tratamento anterior. Podem ser utilizadas várias combinações destes tratamentos consoante o resultado pretendido, e o componente onde é executado.

Pinos – São geralmente temperados e revenidos, após ser aplicada uma camada de crómio duro (*Hard Chrome*), com cerca de 8 μm , com a qual se consegue atingir durezas superficiais superiores a 1200 HV. Nas correntes de gamas baixas é utilizado um aço de baixo teor em carbono e são posteriormente cementados, alcançando uma dureza máxima à superfície da camada de cementação entre 700 e 900 HV

Placas – São geralmente temperadas e revenidas, apresentando durezas de cerca de 540 HV₁₀, devido à sua reduzida espessura a dureza superficial é idêntica à do centro. Nas correntes de gamas superiores são utilizadas placas interiores temperadas e revenidas, com revestimento de crómio duro tendo durezas superficiais superiores a 1200 HV. Nas placas não são utilizados processos de cementação pois os aços utilizados em conjunto com os tratamentos térmicos, permitem obter as durezas desejadas.

Rolos – Geralmente são cementados, temperados e revenidos. Nas correntes de gamas superiores são temperados, revenidos e revestidos com crómio duro.

Posteriormente falar-se-á mais detalhadamente destas duas combinações, bem como a sua influência no desgaste das correntes.

6.5.3 Revestimentos

Para melhorar as características das correntes são aplicados revestimentos de superfície, por vezes até combinação de vários. A aplicação pode ter como objetivo, fins estéticos, resistência à corrosão ou para reduzir o desgaste. A tabela 1 representa os revestimentos utilizados no fabrico de correntes da SRAM.

Tabela 1 - Revestimentos utilizados em correntes da SRAM

Revestimento	Cor	Exemplo	Onde se utiliza
Crómio duro (Hard Chrome)	Prateado		Eixos, Rolos e placas interiores
Niquel	Prateado		Placa interiores e exteriores
PVD (TiC)	Preto		Correntes
PVD (TiN)	Dourado		
PVD (CrN+TiO2)	Rainbow (Arco-iris)		
GEOMET[®] (SaltShaker)	Cinza		
Latonagem	Dourado		Elos de ligação
Oxidação a negro	Preto		Elos de ligação e placas interiores

Para além destes revestimentos, outros fabricantes possuem outros tipos de revestimentos como o caso do *SIL-TEC*[®], que é um revestimento que incorpora moléculas de fluor, reduzindo o atrito e aumentando a repelência a contaminantes, o que melhora a durabilidade das correntes.

Uma vez que este trabalho direcionado para o desgaste, destaca-se o cromo duro "*Hard Chrome*", sendo este o único revestimento que em conjunto com os tratamentos térmicos altera significativamente este mecanismo.

6.6 Cromo Duro (*Hard Chrome*)

O cromo duro trata-se de um tipo de revestimento superficial à base de cromo que tem como objetivo melhorar as propriedades de desgaste e corrosão de um determinado material.

O processo mais utilizado, e também o utilizado na SRAMPort, é por difusão térmica dos átomos de cromo para a superfície dos componentes, formando uma camada superficial rica em cromo. A aplicação deste processo em aços e ligas ferrosas produz uma camada superficial composta essencialmente por Cr, Fe e C, formando carbonetos do tipo, $Cr_{23}C_6$, Cr_3C e Cr_7C_3 , que aumentam substancialmente a dureza, a resistência ao desgaste e à corrosão do material base. Este tratamento requer que o aço de base tenha um teor de carbono suficientemente alto (pelo menos 0,4%) para que se formem os carbonetos, pelo que se deverão utilizar aços com teor de carbono suficiente, ou caso contrário realizar um processo de enriquecimento de carbono.

O processo por via sólida é uma forma simples e económica de revestir componentes em cromo, com a possibilidade de poder revestir peças com geometrias complexas. Este processo é efetuado através da envolvência dos componentes a revestir por uma mistura de pós. Estes pós não são mais que uma mistura de cromo, um elemento inerte (normalmente alumina Al_2O_3) e um elemento ativador (Cloreto de amónio NH_4Cl).

Na SRAM este processo é utilizado para revestir pinos, placas interiores e rolos das correntes, sendo realizado durante algumas horas a cerca de $980^\circ C$.

A espessura da camada varia de componente para componente, rondando os $8\mu m$ para os pinos e os $5\mu m$ para placas interiores.

A dureza superficial dos componentes aumenta bastante, passando os 1200HV.

Relativamente a este revestimento podemos dividir as correntes em duas categorias distintas:

- Correntes *standard* - com *Hard Chrome* apenas nos pinos que denominaremos por "HC";
- Correntes *Full Hard Chrome* – com *Hard Chrome* nos pinos, nas placas interiores e nos rolos, que denominaremos por "FHC";

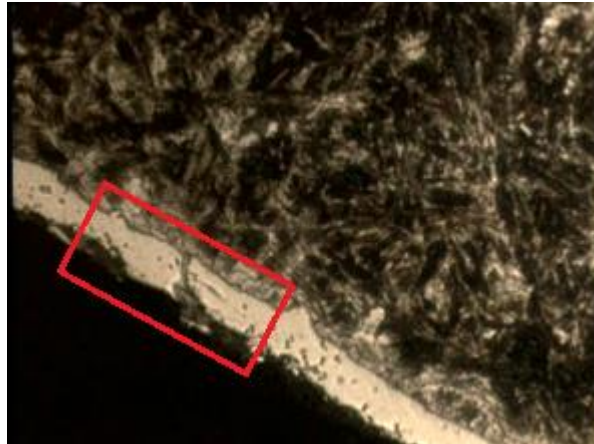


Figura 26 - Camada de Crómio (assinalada a vermelho) vista ao microscópio com ampliação de 500X, Imagem SRAMPort

6.7 Alongamento das correntes

O alongamento das correntes consiste num aumento do seu comprimento face ao seu comprimento inicial. O aumento do comprimento da corrente é uma consequência do desgaste que ocorre entre a placa interior e o pino. Este alongamento provoca um aumento do passo e consequentemente um enrolamento da corrente em torno das rodas dentadas segundo um diâmetro superior ao primitivo (Figura 27).



Figura 27 - Mau engrenamento de corrente muito desgastada devido ao passo alongado

O enrolamento em torno de um diâmetro maior aumenta a probabilidade de a corrente “saltar” dentes da roda dentada quando solicitada a um esforço mais elevado, uma vez que não acontece a perfeita acomodação da corrente aos dentes das rodas dentadas, o que pode originar acidentes, podendo resultar em ferimentos graves para o ciclista.

6.8 Medição do alongamento

Conforme referido anteriormente uma corrente de bicicleta deve ser substituída quando atinge um determinado valor de alongamento, geralmente 0,8% a mais do que o seu comprimento inicial. O manual de utilizador de cada fabricante indica qual o alongamento máximo aconselhável e qual a forma de o medir. Segundo a norma *ISO9633:2001* o comprimento de uma corrente nova deve ser medido antes de lubrificada ou depois de limpa. Para a medição deve ser usado um troço de pelo menos 610mm, terminado em dois elos interiores, aplicando uma força de 125N. Para uma corrente sem desgaste o valor medido deverá ser o valor do passo a multiplicar pelo número de elos ($12,7\text{mm} * n^{\circ}$ de elos), com uma tolerância $\begin{matrix} +0,15\% \\ -0,08\% \end{matrix}$ no comprimento total.

No laboratório de testes da SRAMPort a medição das correntes com desgaste é realizada numa mesa de medição (Figura 28). Este equipamento rege-se segundo as exigências da norma *ISO9633:2001*.



Figura 28 - Mesa de medição de correntes

Para o utilizador comum existem várias ferramentas indicadoras de desgaste no mercado, no entanto não são muito precisas (Figura 29).



Figura 29 - Ferramenta indicadora de desgaste recomendada pela SRAM

Existem dois tipos de ferramentas de medição de desgaste: as que são influenciadas pela folga e desgaste dos rolos, e as que não são influenciadas pela folga e desgaste dos rolos. As ferramentas que não são influenciadas pelo desgaste e folga dos rolos são, geralmente, mais precisas do que as outras, pois retiram as folgas dos rolos para um dos lados, medindo assim o alongamento efetivo da corrente.

7. ENSAIOS DE DESGASTE EM CORRENTES DE BICICLETA

7.1 Tipos de ensaios de desgaste

Durante a sua utilização as correntes são sujeitas a desgaste dos seus componentes. Os ensaios de desgaste permitem, ainda numa fase de desenvolvimento, verificar qual o comportamento da corrente ao longo da sua vida, e a ocorrência de outros fenómenos que possam surgir com o seu desgaste. No entanto estes ensaios não permitem dizer quanto tempo, ou quantos quilómetros, irá a corrente durar na realidade, pois conforme se observará mais à frente existem muitos fatores que influenciam a sua durabilidade.

Na SRAMPort os ensaios de desgaste são maioritariamente realizados em correntes montadas e podem ser divididos em dois tipos: ensaios no laboratório e ensaios no terreno realizados em condições reais de utilização. Cada tipo de teste tem as suas vantagens e desvantagens, e é selecionado o modo mais adequado consoante as necessidades. A tabela 2 mostra algumas dessas vantagens e desvantagens.

Tabela 2 - Comparação de ensaios no laboratório e no terreno

Ensaio em Laboratório	Ensaio no Terreno
Rápido (1 a 2 semanas)	Lento (mais de 1 ano geralmente)
Não representa a realidade, apenas uma simulação desta	As correntes são testadas em condições reais
Permite a repetição dos testes exatamente nas mesmas condições	Não permite repetir os testes nas mesmas condições
Realizado com corrente alinhada (sempre na mesma marcha)	Efeitos das trocas de marcha pelo utilizador (desalinhamentos)
Ambiente controlado	Efeitos do meio ambiente (água, humidade, lama, etc.)
Tipicamente mais baratos	Tipicamente mais dispendiosos

7.2 Ensaio de desgaste em laboratório

Para os ensaios de desgaste, é instalada uma transmissão completa numa máquina de ensaio de desgaste (Figura 30). O sistema simula o movimento da transmissão com potência e relação de transmissão constantes. Durante o teste é aplicada pasta abrasiva (lubrificante com um agente abrasivo) automaticamente em intervalos específicos. O alongamento da corrente é medido em intervalos constantes pré-definidos para o teste. Geralmente o teste decorre até se atingir 0,8% de alongamento ou até a corrente falhar por qualquer outro motivo.

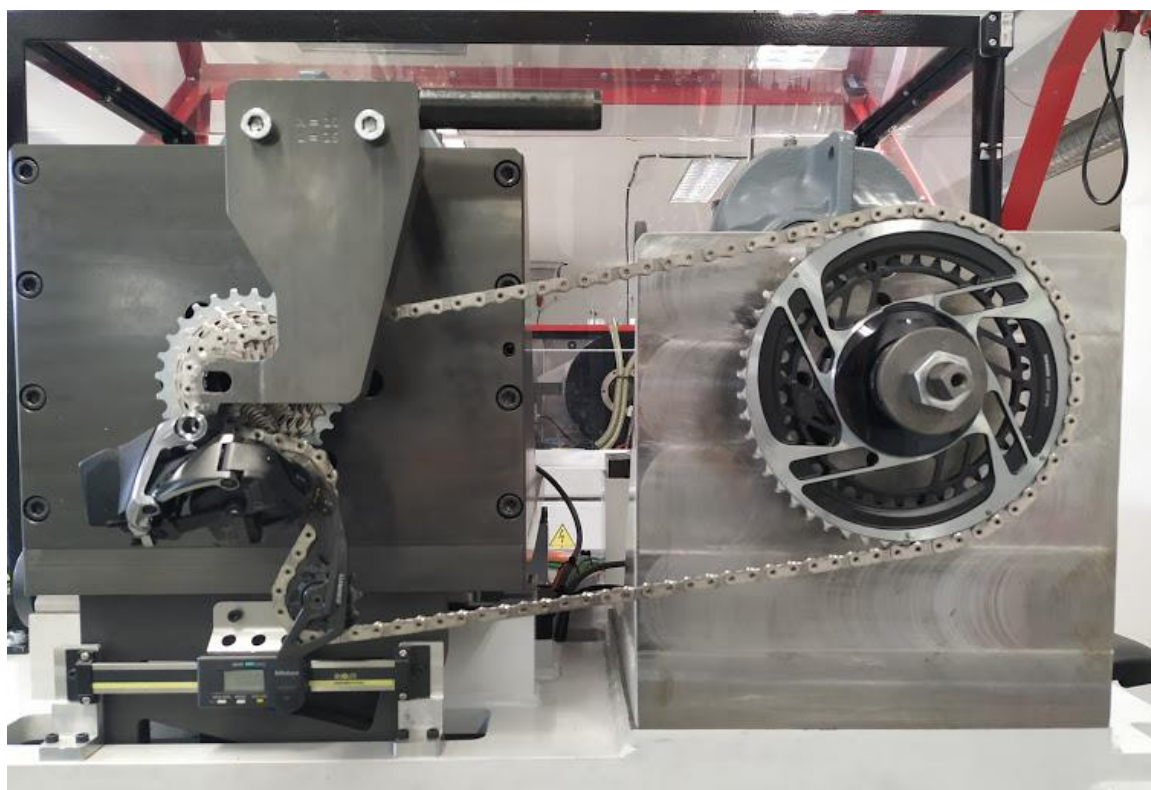


Figura 30 - Máquina de ensaios de desgaste

Condições de ensaio:

Para garantir que os ensaios são sempre realizados nas mesmas condições, vários parâmetros são controlados, tais como:

- Potência aplicada;
- Concentração de óleo/abrasivo;
- Relação de transmissão;
- Alinhamento da corrente;
- Velocidade;
- Intervalo de registos;

Dados registados:

- Tempo decorrido;
- Comprimento da corrente;
- Flecha lateral da corrente;
- Torção;
- Defeitos observáveis visualmente;

7.2.1- Análise de resultados de ensaios em laboratório

Foram selecionados da base de dados de testes da SRAM, resultados de ensaios de desgaste de correntes de 11 e de 12 velocidades, realizados nas mesmas condições de ensaio. Optou-se por estas plataformas, visto serem as correntes mais recentes no mercado e das quais se dispunha de maior amostragem. Com os dados destes testes é possível fazer um gráfico alongamento/tempo para cada corrente. As correntes selecionadas dividem-se em quatro categorias, tendo em conta a sua plataforma (11 ou 12 velocidades), e se são correntes HC ou FHC que, conforme foi dito anteriormente, tem uma influência considerável no seu desgaste. As quatro categorias são:

- Correntes de 11 velocidades HC;
- Correntes de 11 velocidades FHC;
- Correntes de 12 velocidades HC;
- Correntes de 12 velocidades FHC;

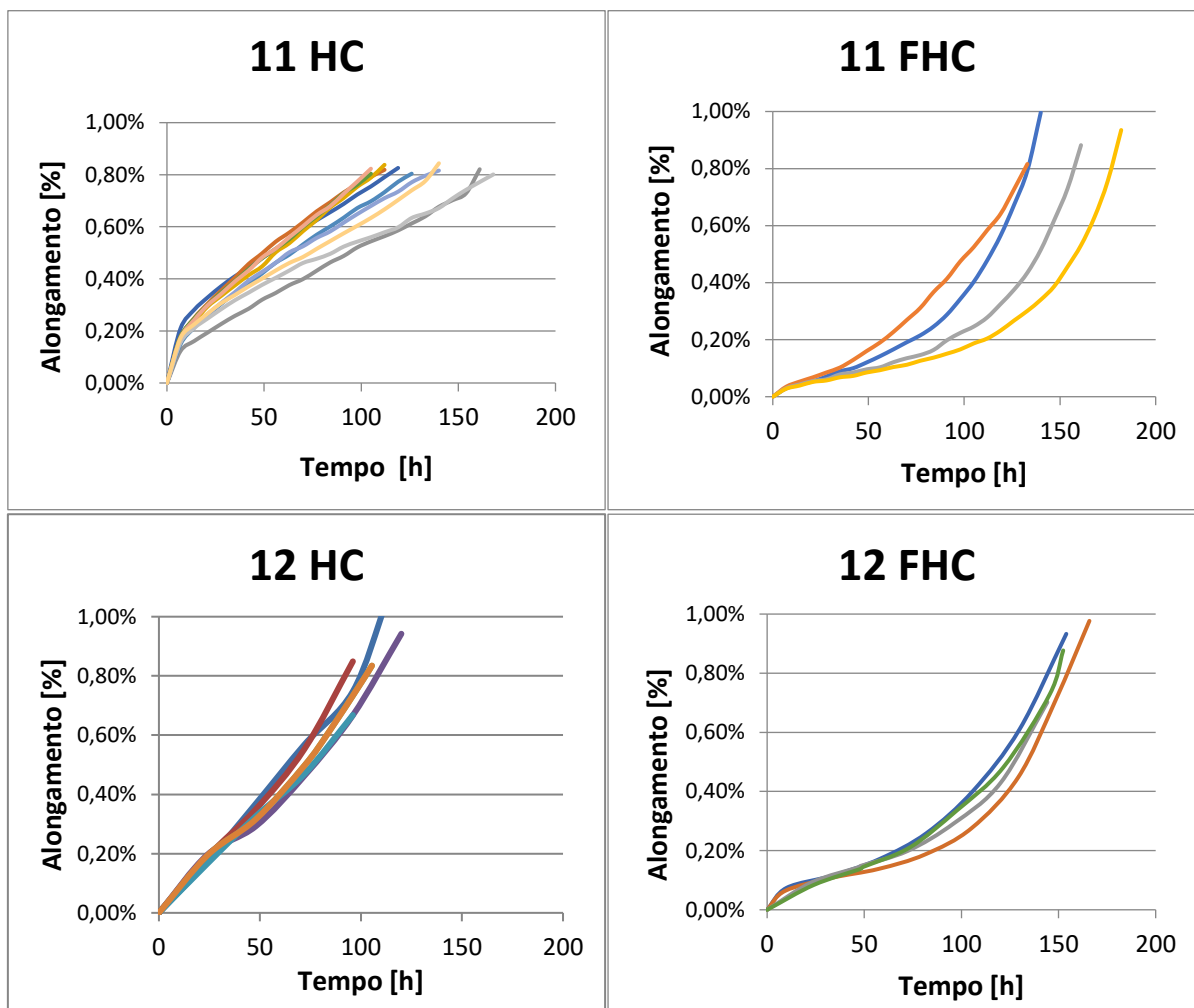


Figura 31 - Gráficos de ensaios de desgaste em laboratório, dados SRAMPort

As condições de ensaio foram alteradas nas correntes de 12 velocidades, pelo que não se poderá comparar com os valores obtidos nas correntes de 11 velocidades. No entanto analisando os gráficos é possível retirar algumas conclusões. Pode imediatamente perceber-se que as correntes FHC, para atingirem a mesma percentagem de alongamento, necessitam de mais tempo do que as correntes HC.

Observa-se também que quer na plataforma de 11 velocidades, quer na de 12, que as curvas características são diferentes em correntes FHC e HC. As correntes FHC apresentam um período de alongamento lento, mas que a partir de certo ponto vai aumentando passando a alongamento mais acelerado. Já as correntes HC apresentam um alongamento mais linear, relativamente constante ao longo da sua vida. É possível observar também que em todos os gráficos, inicialmente ocorre um curtíssimo intervalo em que o alongamento é rápido, devendo-se ao período de rodagem da corrente, em que os componentes se ajustam uns aos outros e são removidas algumas irregularidades.

Representando esquematicamente o comportamento do desgaste nas correntes HC e FHC, obtém-se aproximadamente os perfis representados na Figura 32. O que geralmente se observa é uma zona de rodagem (representada a azul), em que ocorre um alongamento mais rápido, mas apenas num curtíssimo período de tempo. Depois ocorre um período de desgaste mais lento (representado a verde). Nas correntes HC este mesmo período dura até ao fim ou quase até ao fim de vida da corrente. Já nas correntes FHC ocorre aproximadamente entre os 0,1% e os 0,2% de alongamento. Nas correntes FHC este período acontece durante o desgaste da camada de crómio duro que, apesar de representar um intervalo de desgaste pequeno, tem uma longa duração. Finalmente ocorre um período de desgaste mais acelerado, que geralmente só é visível nas correntes FHC, que ocorre depois de toda a camada de crómio duro se desgastar.

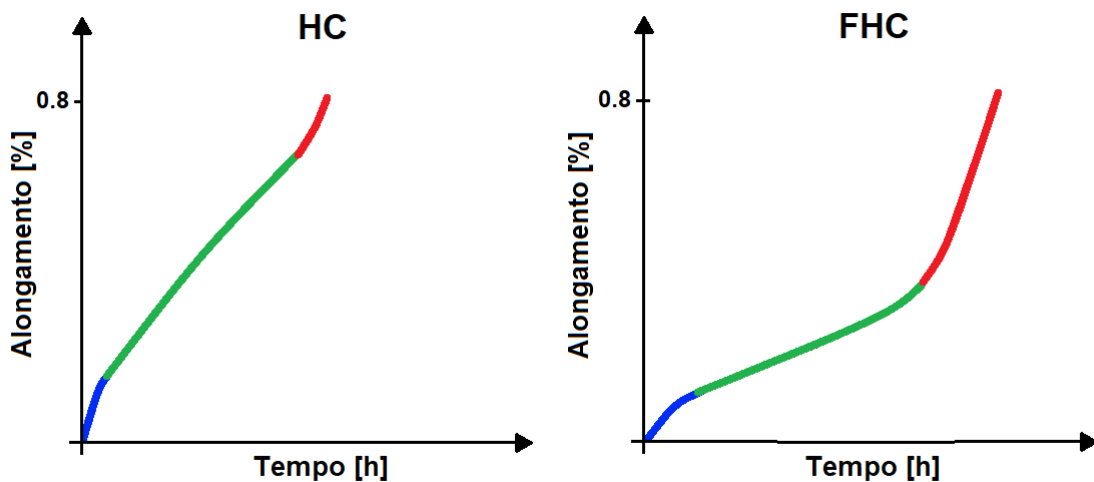


Figura 32 - Comparação da evolução do alongamento

7.3 Ensaio de desgaste no terreno

Os ensaios no terreno são o modo mais correto de estudar o desgaste das correntes, pois são testadas por um ciclista e não por uma máquina, e em ambiente real para o qual foram desenvolvidas. Sendo uma utilização no terreno, e em condições reais, há a influência de trocas de marcha, desalinhamentos da corrente elevados, picos de potência, contaminantes externos, condições climatéricas, entre outros fatores.

Este tipo de ensaio é muito mais demorado do que um ensaio em laboratório e é impossível repetir dois testes exatamente nas mesmas condições, não podendo ser comparados uns com os outros, isto é, o mesmo ciclista pode demorar um determinado tempo para desgastar uma corrente e de seguida demorar o dobro ou

metade para atingir o mesmo desgaste noutra corrente idêntica, uma vez que há muitos fatores que influenciam o desgaste, como referido anteriormente.

No gráfico da Figura 33 verifica-se um caso em que a primeira corrente durou cerca de 15000km e a segunda fez mais de o dobro, cerca de 34000km. Ambas foram provenientes do mesmo lote e foram instaladas na mesma bicicleta, com o mesmo equipamento, e foram utilizadas pelo mesmo ciclista, no entanto em alturas diferentes. Neste caso em particular, a diferença de durabilidade pode ser explicada pelas diferenças nas condições climáticas durante a realização dos 2 ensaios uma vez que foram registadas e são conhecidas (a corrente #1 foi utilizada em tempo bastante chuvoso enquanto a corrente #2 foi predominantemente utilizada em tempo seco). Do que se conhece de outros testes, a influência do desgaste dos outros componentes da transmissão bem como a variação em correntes de um mesmo lote poderá ser negligenciada, uma vez que é demasiado pequena.

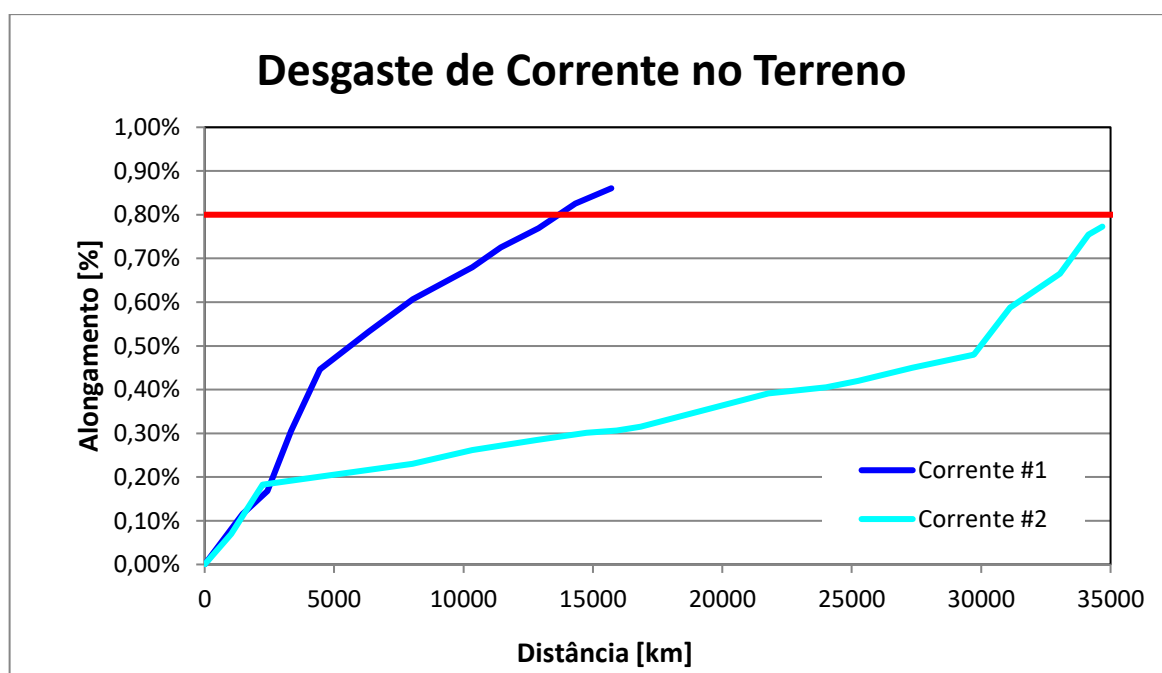


Figura 33 - Comparação entre duas correntes utilizadas pelo mesmo ciclista, dados SRAMPort

Como se pode comprovar, mesmo usando correntes idênticas provenientes do mesmo lote de produção e utilizadas pelo mesmo ciclista é impossível repetir os ensaios nas mesmas condições, devido à existência de muitos fatores que podem influenciar os resultados, ou seja, os ensaios no terreno apenas permitem fazer comparações diretas, isto é, se as correntes andarem ao mesmo tempo na mesma transmissão.

Tipicamente é usual, em vez de se utilizar apenas uma única corrente numa transmissão, utiliza-se dois ou mais troços de correntes diferentes unidos, permitindo

assim estabelecer uma melhor e mais direta comparação. Deste modo, todos os troços de corrente funcionam ao mesmo tempo, nas mesmas condições, estando sujeitos aos mesmos esforços, às mesmas contaminações externas, etc.

No gráfico da Figura 34 observa-se a diferença no desgaste entre correntes de 11 e de 12 velocidades, quer em correntes HC, quer em correntes FHC. Podemos ver que as correntes de 11 velocidades duraram mais que as correntes de 12 velocidades, pelo menos neste caso.

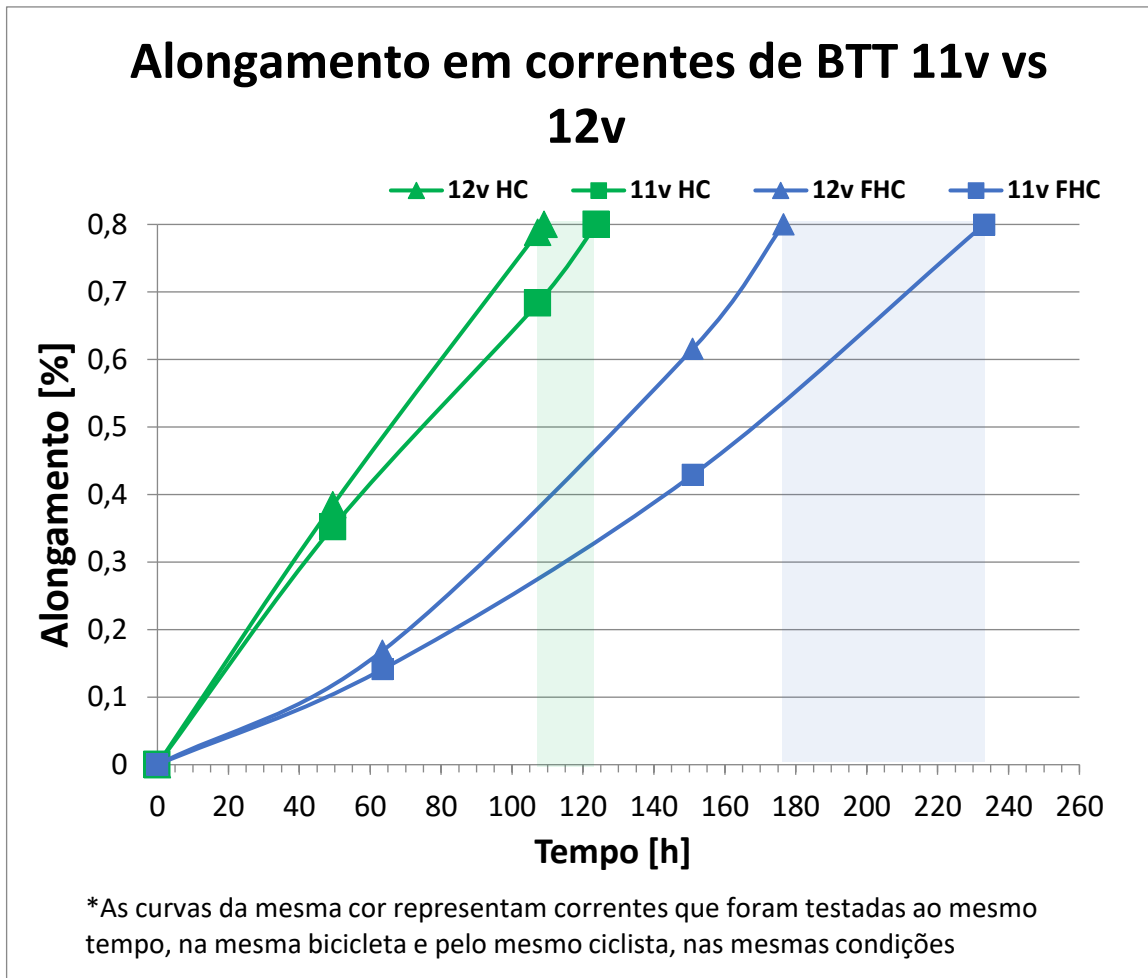


Figura 34 - Comparação de 11 vs. 12 velocidades em BTT, dados SRAMPort

A diferença dos resultados entre as correntes de 11 e 12 velocidades pode ser explicada pelo facto de a largura das correntes variar inversamente com o número de velocidades para que são desenvolvidas, ou seja, quanto maior o número de velocidades, menor será a largura da corrente. Portanto, tendo uma largura inferior, menor será a superfície em contacto entre as placas interiores e o eixo da corrente e, sendo esta área menor, para uma força aplicada igual mais severo será o desgaste. Na figura abaixo observa-se uma demonstração dessa diferença onde foi feita uma

comparação entre uma corrente de 11 velocidades (RED 22) e uma corrente de 12 velocidades (EAGLE).

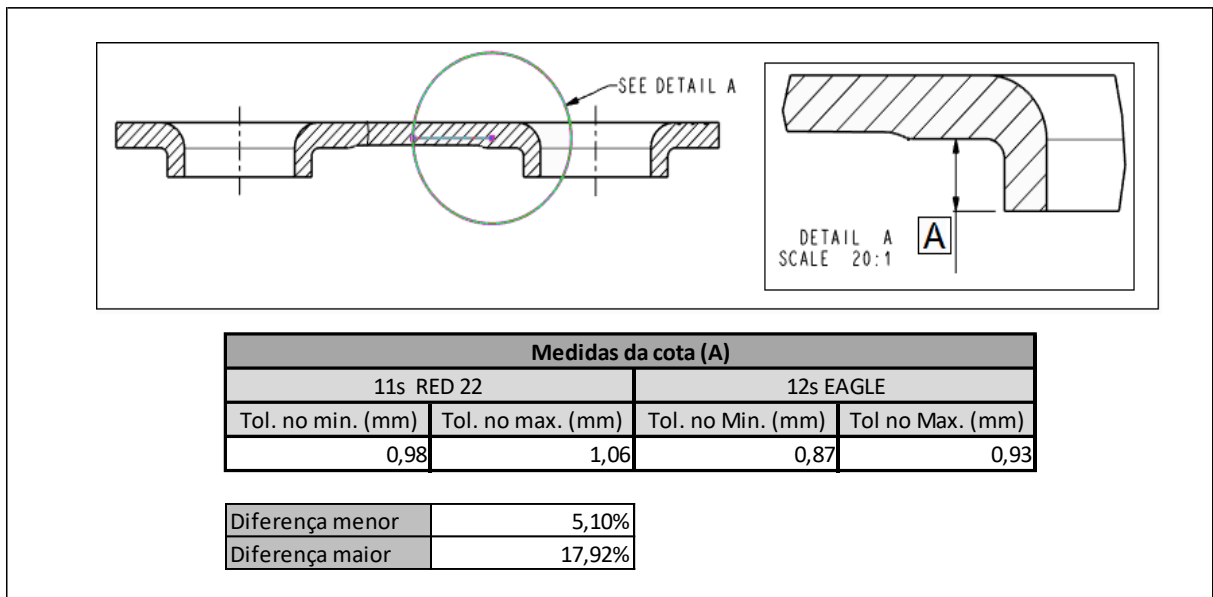


Figura 35 - Folha de calculo da diferença de largura de correntes de 11 e 12 velocidades

O alongamento da corrente é provocado pelo desgaste entre a placa interior e pino. Observando-se o contacto entre duas superfícies cilíndricas com diâmetros diferentes, este dá-se sobre uma linha que terá o comprimento igual à altura dos canhões das placas interiores. Esta altura pode variar dentro da tolerância de fabrico estabelecida, ou seja, considerando os extremos que podem ocorrer em cada uma das correntes a diferença entre elas pode variar entre 5 e 18% aproximadamente (Figura 35).

Durante a realização deste trabalho, foram colocados mais alguns ensaios a decorrer de comparação direta entre HC e FHC, em 11 e 12 velocidades, no entanto na duração do mesmo e devido à longa duração deste tipo de ensaios não foi possível tirar qualquer conclusão.

8 Análise de correntes do terreno

8.1 Introdução da análise

Para compreender melhor a evolução do desgaste nas correntes foram analisados componentes de várias correntes ao longo da sua vida útil. As correntes foram divididas em quatro categorias, diferentes das utilizadas anteriormente, pois aqui entra outro fator que é a influencia do tipo de utilização (estrada ou BTT). As categorias utilizadas foram as seguintes:

- Correntes HC utilizadas em estrada;
- Correntes FHC utilizadas em estrada;
- Correntes HC utilizadas em BTT;
- Correntes FHC utilizadas em BTT;

O que é pretendido?

- Análise visual do desgaste dos componentes da corrente em várias fases da sua vida útil;
- Contribuição de cada componente para o alongamento da corrente (placas interiores e pinos);

Foram utilizadas correntes que se encontravam em teste no terreno aquando da realização desta investigação, das quais foram retirados componentes. Abrangeram-se várias fases da vida das correntes (início, meio e fim), para cada uma das categorias referidas.

É de esperar que as correntes HC sofram um desgaste mais elevado nas placas interiores do que as correntes FHC, uma vez que não possuem cromo duro (*Hard Chrome*).

Correntes utilizadas:

A (tabela 3) contém informações relativas às correntes que foram utilizadas para esta análise e o seu alongamento.

Tabela 3 - Correntes de ensaio no terreno utilizadas

Modelo	Tipo	Utilização	Alongamento [%]
EAGLE XX1	FHC	BTT	0,09
PCXX1	FHC	Estrada	0,12
EAGLE XX1	FHC	BTT	0,22
EAGLE X01	FHC	Estrada	0,44
EAGLE XX1	FHC	BTT	0,83
RED-D1	FHC	Estrada	0,89
EAGLE GX	HC	BTT	0,20
PCRED22	HC	Estrada	0,28
EAGLE GX	HC	BTT	0,50
PCRED22	HC	Estrada	0,82

8.2 Análise visual do desgaste nos componentes

Foram analisados os constituintes das várias correntes mencionadas na (tabela 3). Observa-se o desgaste em todos os componentes, embora esta análise se direcione para as placas interiores e para os pinos. Na Figura 36 pode observar-se o aspeto dos pinos em várias fases da vida útil das correntes e em diferentes tipos de utilização.

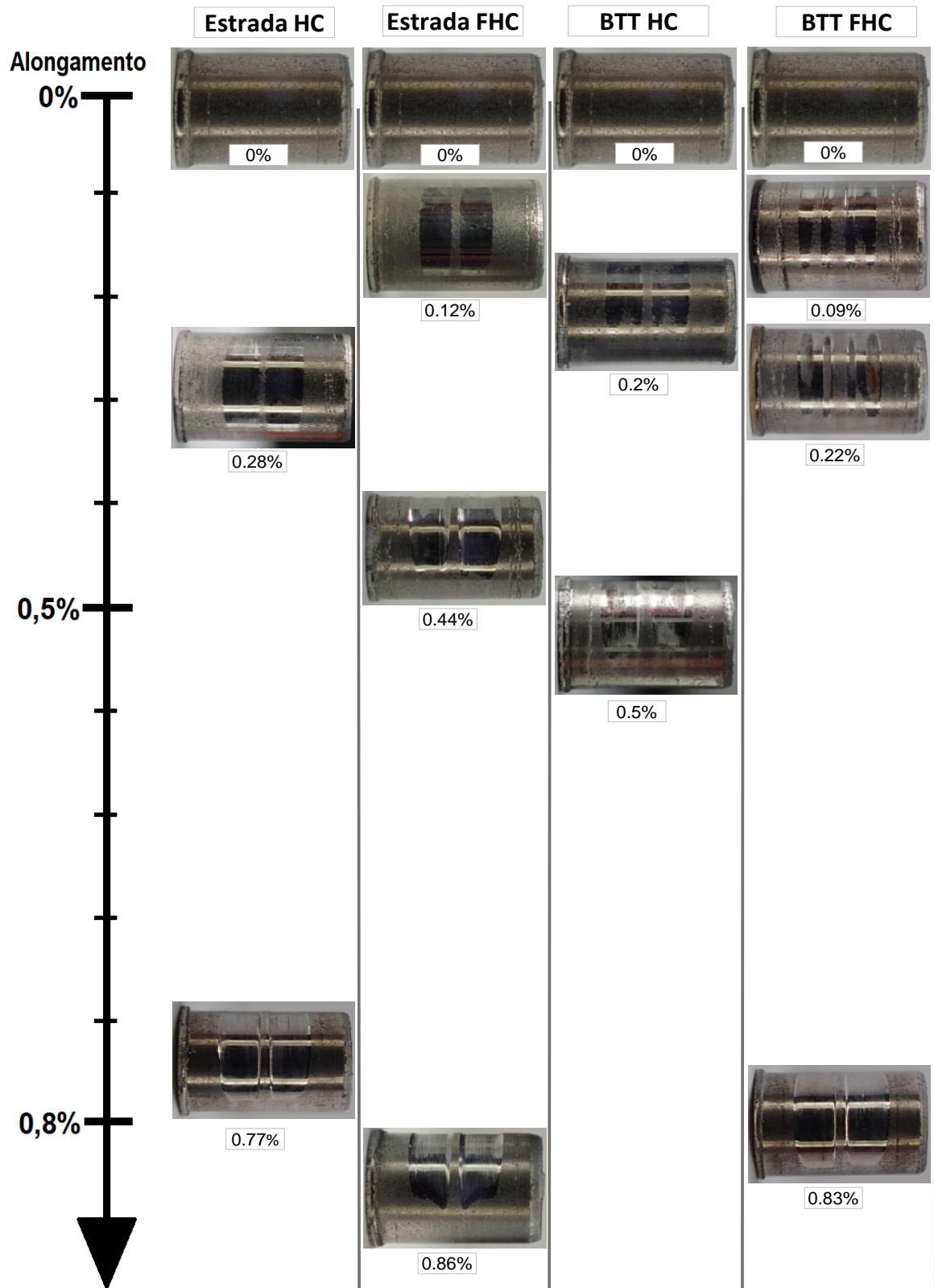


Figura 36 - Aspeto dos pinos ao longo da vida de uma corrente

Os pinos das correntes de estrada apresentam um padrão de desgaste mais uniforme, conforme se vê na (figura 37, do lado esquerdo), enquanto os pinos das correntes de BTT apresentam um padrão de desgaste mais irregular (lado direito da figura 37), dando a ideia de que as placas interiores apenas se apoiaram nas suas extremidades, como que as placas estivessem sujeitas a um grande esforço lateral. Este efeito é bastante visível em correntes com menor alongamento e tende a desaparecer conforme o alongamento aumenta.



Figura 37 - Comparação de pino de corrente utilizada em Estrada vs. BTT respetivamente

O desgaste mais irregular nas correntes de BTT pode ser justificado pelo facto de as transmissões usadas em BTT serem (1x12) ou seja, apenas possuírem um prato na pedaleira, levando a que o desvio da corrente seja um pouco maior que nas transmissões de estrada que possuem dois pratos na pedaleira (2x12) (Figura 38).

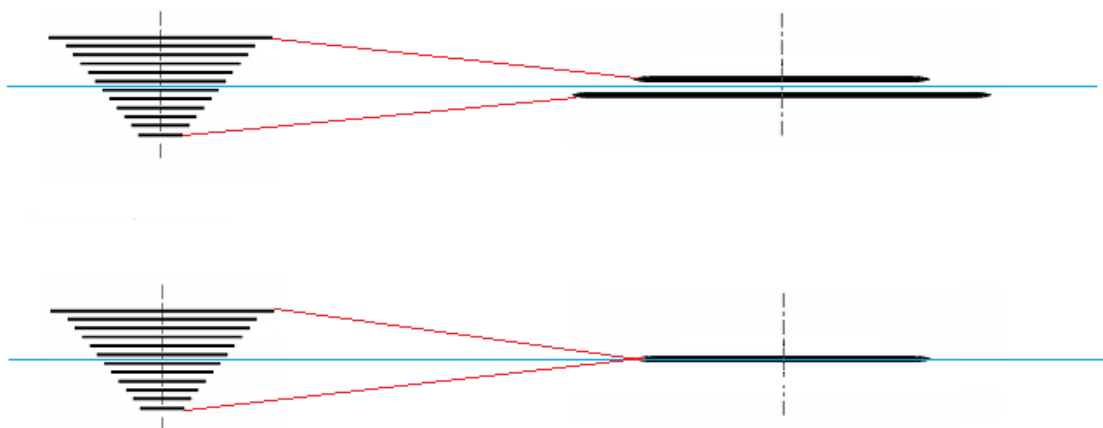


Figura 38 - Representação do desalinhamento da corrente em sistemas (2x12) e (1x12)

Outra justificação é que na prática de BTT as cassetes têm carretos maiores e as pedaleiras possuem pratos menores que nas bicicletas de estrada, permitindo assim ao ciclista aplicar maiores esforços na corrente. Combinando os maiores desvios de corrente, com os maiores esforços aplicados, com maior contaminação da corrente devido ao tipo de ambiente, é possível justificar o desgaste mais irregular e mais rápido numa utilização de BTT.

Já nas placas interiores não parece ocorrer grande diferença a nível visual entre as correntes utilizadas em BTT e em Estrada, e mesmo entre placas de correntes com pouco alongamento e com muito alongamento não há uma clara diferença. Nas placas interiores observa-se desgaste preferencialmente em dois pontos conforme a Figura 39, no interior do canhão (a verde) provocado pelo contacto com o pino, e na parte exterior do canhão (a vermelho) causado pelo contacto com o rolo.

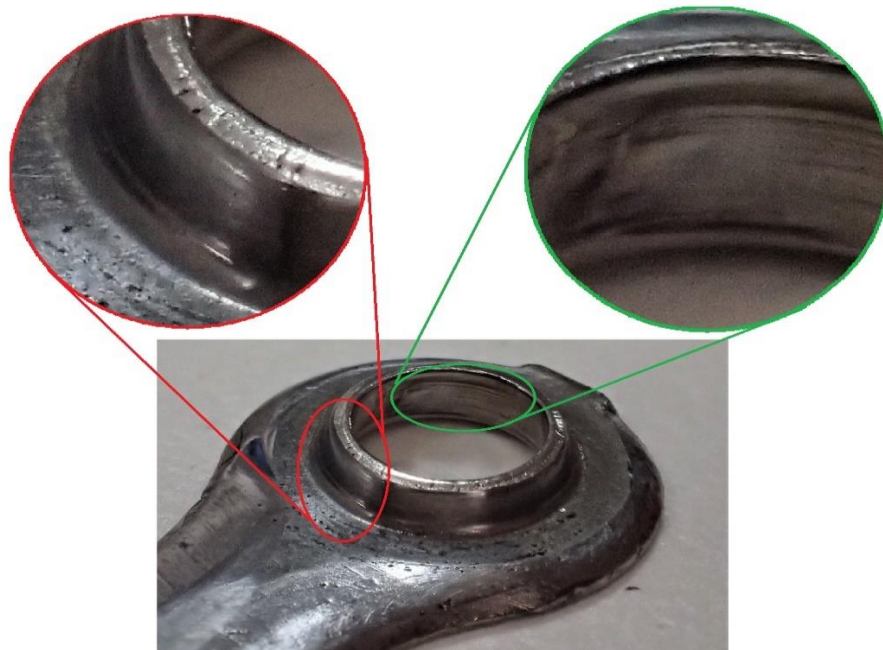


Figura 39 - Desgaste visível numa placa interior

8.3 Quantificação do desgaste nos componentes (medições em placas interiores e pinos).

O conhecimento da relação de desgaste entre os componentes da corrente é importante para que se possa conhecer os pontos fracos de modo a permitir fazer melhorias. Melhorando os pontos fracos é possível obter um desgaste mais homogéneo, aumentando a longevidade das correntes. Para este estudo foram feitas medições dos componentes isoladamente para se perceber a contribuição de cada um para o alongamento total da corrente.

Os componentes medidos foram, os pinos e as placas interiores, uma vez que são os que têm influência no alongamento da corrente.

Dificuldades na medição:

Devido ao grande número de componentes, qualquer erro de medição por menor que seja, quando somado em todos os componentes de uma corrente dará um erro considerável. Para além disso, é também difícil saber o ponto exato do contacto entre os componentes. Estes problemas são ainda mais notáveis nas correntes desgastadas, onde as irregularidades provocadas pelo desgaste tornam ainda mais difícil saber o ponto exato de contacto entre os componentes.

Método de medição em correntes novas:

Apesar do objetivo ser medir componentes com desgaste, inicialmente tentou-se validar um método de medição em correntes novas, pois dispunha-se de mais amostras e os componentes apresentam superfícies regulares e com dimensões semelhantes entre si. Foi avaliada a melhor forma de medir os componentes e quais os equipamentos de medida a utilizar.

Teoricamente o comprimento total de uma corrente será a soma dos passos (medida entre os centros dos furos) das placas interiores e exteriores mais as folgas existentes entre os pinos e as placas interiores. O esquema da Figura 40 mostra como pode ser feita essa medição, em que A e B representam o passo das placas interiores e exteriores, respetivamente, X o diâmetro dos furos das placas interiores e Y o diâmetro dos pinos.

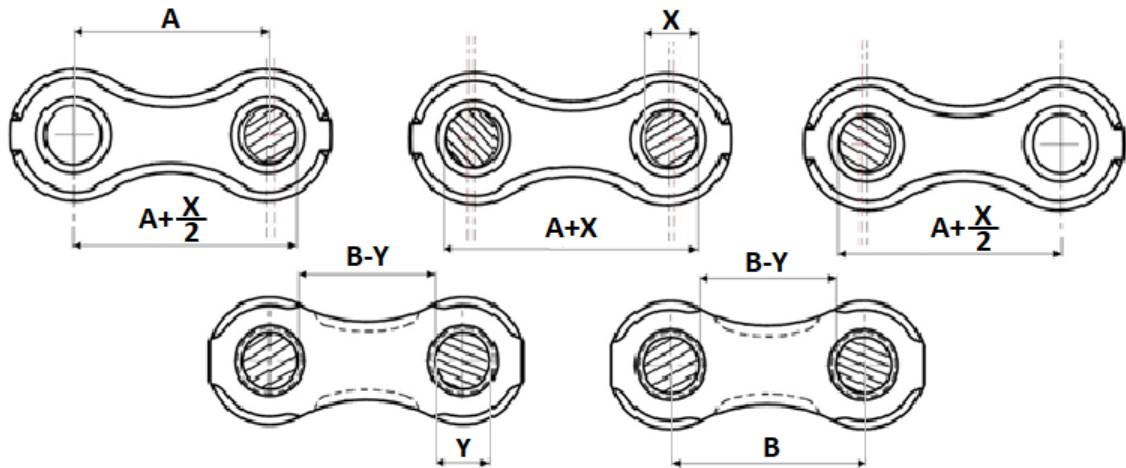


Figura 36 - Esquema de medição de correntes

Portanto, o comprimento da corrente (L_c) pode ser calculado em função do número de malhas (n), através da expressão (4) sendo que MI e ME representa as malhas interiores e exteriores, respectivamente. O número de malhas (n) terá de ser sempre ímpar, pois a corrente é sempre medida terminando em malhas interiores de ambos os lados.

$$ME(n) = \frac{n-1}{2} \quad (2)$$

$$MI(n) = \frac{n+1}{2} \quad (3)$$

$$L_c(n) = \left(\frac{n+1}{2} - 2\right) * (A + X) + \left(\frac{n-1}{2} * (B - Y)\right) + 2 \left(A + \frac{X}{2}\right) \quad (4)$$

Devido à medição de muitos componentes, este método acarreta um problema que é a acumulação de erros de medição, levando a um erro considerável.

Outro problema é o passo da placa exterior variar no processo de montagem, uma vez que o eixo é montado nas placas exteriores com interferência, ou seja, o diâmetro do furo da placa é ligeiramente inferior ao diâmetro do eixo.

Para minimizar estes erros foi medido em elos de corrente (placa exterior com os dois pinos instalados), a distância entre os dois pinos (F), e em placas interiores mediu-se a distância entre a extremidade dos furos (C), conforme demonstrado na Figura 41.

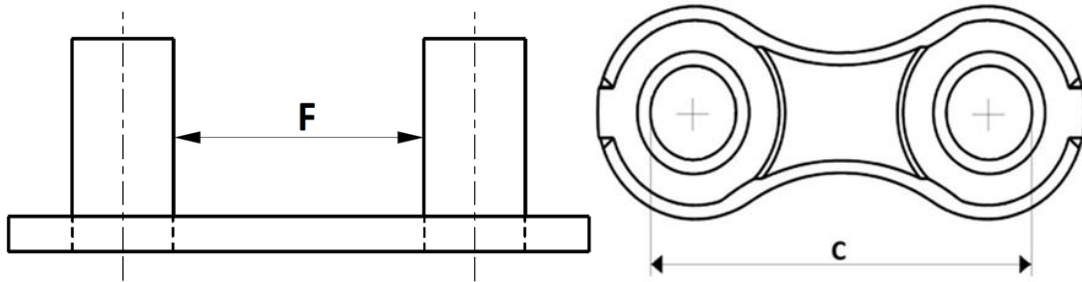


Figura 37 - Zonas de medição

Medindo desta forma, o comprimento da corrente é dado pela expressão (5):

$$Lc(n) = \left(F * \frac{n-1}{2} \right) + \left(\frac{n+1}{2} * C \right) - 3,64 \quad (5)$$

Ao utilizar este método realizaram-se medições em apenas duas zonas, o que leva a uma menor acumulação de erros de medição, conduzindo a resultados mais fiáveis.

As medições foram realizadas recorrendo a um projetor de perfis com ampliação de 20x. Foram utilizadas correntes retiradas da linha de produção e foi medida uma amostra significativa de componentes.

Após comparar o comprimento da corrente medido na mesa de medição com os resultados obtidos através da soma dos componentes, concluiu-se que, pelo menos para correntes novas, é possível obter uma aproximação do valor do comprimento de correntes através de medição dos seus componentes com um erro inferior a 0,05%.

Medição em correntes com desgaste:

Apesar de se ter verificado que o método anterior funciona em correntes novas, após análise dos componentes das correntes desgastadas, devido à sua natureza e meios de medição optou-se por não utilizar este método.

Foram medidos os componentes de interesse para o alongamento (placas interiores e pinos) e comparados os valores obtidos com os originais.

Os pinos foram medidos nos sulcos provocados pelo desgaste, utilizando um micrómetro de pontas chatas Figura 38.

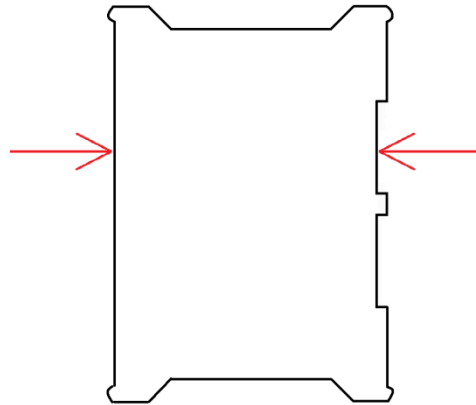


Figura 38 - Zona de medição dos pinos

Nas placas interiores foi medida a distância entre as extremidades exteriores dos furos, conforme demonstrado na Figura 39 pela cota “C”, utilizando um paquímetro.

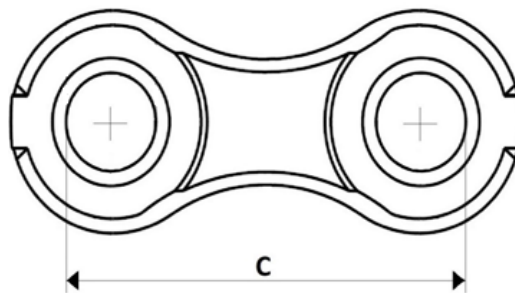


Figura 39 - Zona de medição das placas interiores

Para saber a quantidade de material desgastado é necessário conhecer as dimensões originais dos componentes que, apesar de serem conhecidas as suas dimensões nominais, existe sempre alguma variabilidade devido ao processo de fabrico. No caso dos pinos é possível obter uma aproximação da sua dimensão original, bastando para isso medir numa zona sem desgaste. Contudo, é sabido que os pinos sofrem uma ligeira deformação no processo de rebitagem, aumentando o seu diâmetro no centro. Assim, considerou-se como diâmetro original do pino a zona logo após o encastramento com a placa exterior, visto ser uma zona onde a deformação é mínima e onde não ocorre desgaste. Os pinos foram medidos nas cotas A e B (Figura 40), e a diferença entre elas representa a contribuição de cada pino para o alongamento da corrente.

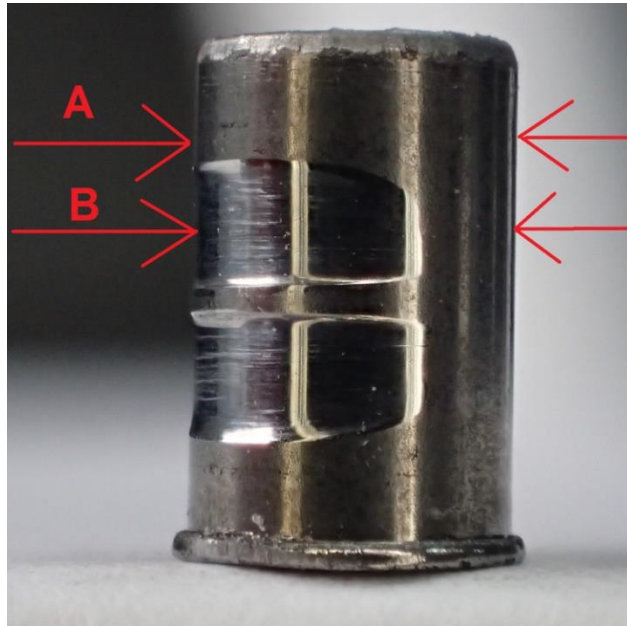


Figura 40 - Zonas de medição dos pinos (A-medida original; B-medida gastos)

No caso das placas interiores, não sabendo a medida original da cota (C), (Figura 39) e não tendo como saber, considerou-se a medida nominal, que é controlada em todos os lotes de produção tendo como valor médio 16,4mm

Medições de Pinos

Tabela 4 - Medições em Pinos

Modelo	Utilização	Tipo	Along. Real [%]	A [mm]	B [mm]	Diferença (A-B) [mm]
EAGLE XX1	BTT	FHC	0,09	3,651	3,646	0,005
PCXX1	Estrada	FHC	0,12	3,639	3,634	0,005
EAGLE XX1	BTT	FHC	0,22	3,645	3,633	0,013
EAGLE X01	Estrada	FHC	0,44	3,640	3,595	0,045
EAGLE XX1	BTT	FHC	0,83	3,642	3,580	0,062
RED-D1	Estrada	FHC	0,89	3,641	3,599	0,042
EAGLE GX	BTT	HC	0,20	3,628	3,624	0,004
PCRED22	Estrada	HC	0,28	3,643	3,630	0,013
EAGLE GX	BTT	HC	0,50	3,639	3,616	0,024
PCRED22	Estrada	HC	0,82	3,630	3,587	0,043

Medições de Placas Interiores

Tabela 5 - Medições em placas interiores

Modelo	Utilização	Tipo	Alongamento Real [%]	C (médio) [mm]	Diferença por placa (C-16,4) [mm]
EAGLE XX1	BTT	FHC	0,09	16,445	0,045
PCXX1	Estrada	FHC	0,12	16,445	0,045
EAGLE XX1	BTT	FHC	0,22	16,458	0,058
EAGLE X01	Estrada	FHC	0,44	16,475	0,075
EAGLE XX1	BTT	FHC	0,83	16,558	0,158
RED-D1	Estrada	FHC	0,89	16,523	0,123
EAGLE GX	BTT	HC	0,20	16,455	0,055
PCRED22	Estrada	HC	0,28	16,465	0,065
EAGLE GX	BTT	HC	0,50	16,475	0,075
PCRED22	Estrada	HC	0,82	16,492	0,092

Obteve-se, então, a diferença por cada pino e por cada placa interior para cada corrente, permitindo calcular para uma corrente de 49 malhas o valor do alongamento provocado pelas placas e pelos pinos, e qual o seu total.

Para calcular a contribuição dos pinos e das placas interiores, basta multiplicar o número de malhas interiores eq. (3), pela diferença das placas interiores, e multiplicar o número de pinos eq. (6), pela diferença dos pinos (A-B).

$$P(n) = n - 1 \quad (6)$$

Tabela 6 - Contribuição por componente numa corrente de 49 malhas

Modelo	Utilização	Along. da corrente [%]	Diferença por PI [mm]	Diferença por pino [mm]	Contribuição PI em 49 malhas [mm]	Contribuição dos pinos em 49 malhas [mm]	Total em 49 malhas [mm]
EAGLE XX1	BTT	0,09	0,045	0,005	1,13	0,24	1,37
PCXX1	Estrada	0,12	0,045	0,005	1,13	0,25	1,38
EAGLE XX1	BTT	0,22	0,058	0,013	1,44	0,60	2,04
EAGLE X01	Estrada	0,44	0,075	0,045	1,88	2,15	4,02
EAGLE XX1	BTT	0,83	0,158	0,062	3,94	2,99	6,93
RED-D1	Estrada	0,89	0,123	0,041	3,08	1,97	5,04
EAGLE GX	BTT	0,20	0,055	0,004	1,37	0,19	1,57
PCRED22	Estrada	0,28	0,065	0,013	1,63	0,61	2,24
EAGLE GX	BTT	0,50	0,075	0,023	1,88	1,13	3,00
PCRED22	Estrada	0,82	0,092	0,043	2,30	2,06	4,36

Na Tabela 7 apresenta-se uma comparação entre o alongamento real (medido na mesa de medição) e o valor teórico (calculado através da medição dos componentes).

Tabela 7 - Erro do alongamento teórico em relação ao alongamento real

Tipo	Modelo da corrente	Utilização	Alongamento real (medido na corrente) [%]	Alongamento teórico (calculado a partir do desgaste medido) [%]	Erro do alongamento teórico em relação ao real [%]
FHC	EAGLE XX1	BTT	0,09	0,21	+135
FHC	PCXX1	Estrada	0,12	0,22	+81
FHC	EAGLE XX1	BTT	0,22	0,32	+46
FHC	EAGLE X01	Estrada	0,44	0,65	+47
FHC	EAGLE XX1	BTT	0,83	1,11	+33
FHC	RED-D1	Estrada	0,89	0,80	-10
HC	EAGLE GX	BTT	0,20	0,24	+22
HC	PCRED22	Estrada	0,28	0,35	+27
HC	EAGLE GX	BTT	0,50	0,48	-4
HC	PCRED22	Estrada	0,82	0,70	-15

É possível observar que, para menores alongamentos da corrente o erro entre o alongamento real e o alongamento teórico é superior.

Sabendo que a contribuição para o alongamento é provocada pelos pinos e pelas placas interiores é possível calcular a percentagem de cada um no alongamento total da corrente.

Correntes HC

Tabela 8 - Percentagem de desgaste por componente em correntes HC

Modelo	Utilização	Alongamento [%]	Contribuição Placas Interiores [%]	Contribuição dos Pinos [%]
EAGLE GX	BTT	0,20	87,75	12,25
PCRED22	Estrada	0,28	72,64	27,36
EAGLE GX	BTT	0,50	62,44	37,56
PCRED22	Estrada	0,82	52,70	47,30

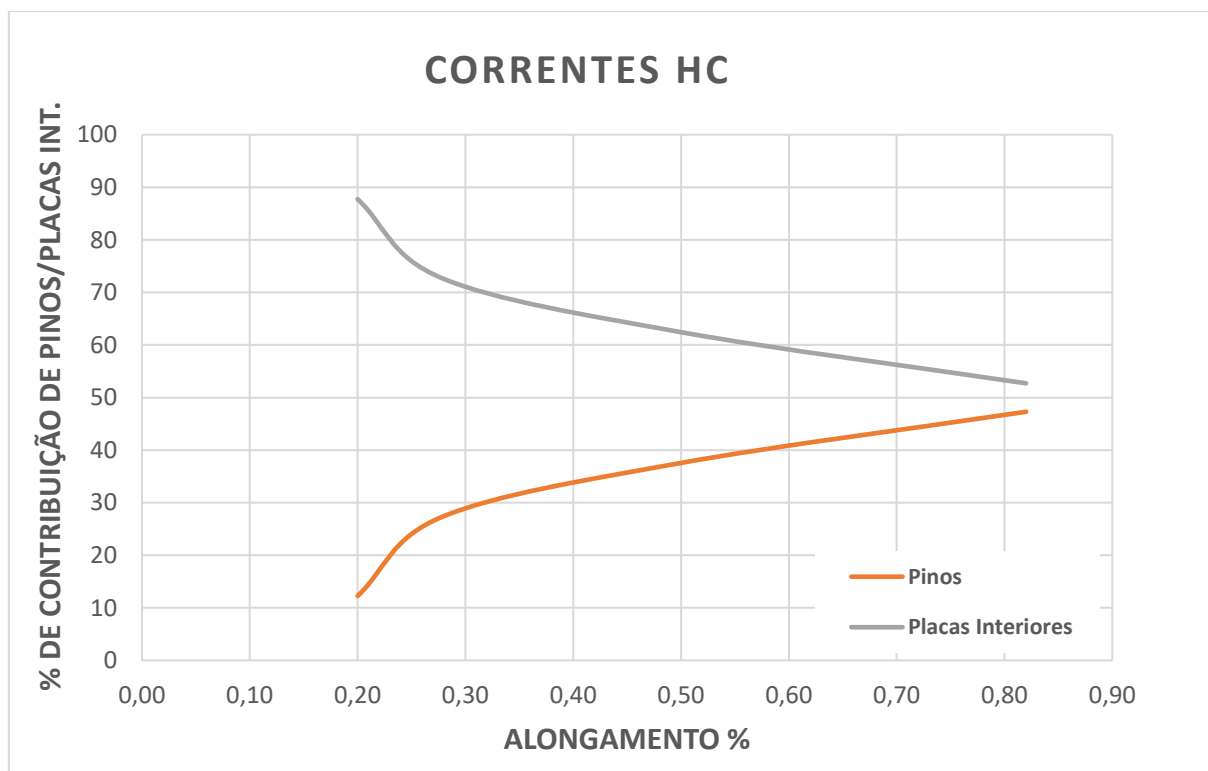


Figura 41 - Contribuição para desgaste por componente em correntes HC

Após análise do gráfico da Figura 41 observa-se que, em correntes HC, numa fase inicial de desgaste o alongamento da corrente é praticamente todo proveniente das placas interiores, o que era esperado uma vez que os pinos têm revestimento de cromo duro e as placas não. Sendo a dureza dos pinos superior à dureza das placas, estes resistem melhor ao desgaste do que as placas, pelo menos até se desgastar todo o revestimento. Conforme o alongamento da corrente aumenta, o rácio de desgaste entre pinos e placas interiores tende para se equilibrar, estando próximo dos 50/50 quando atinge os 0,8% de alongamento.

Correntes FHC

Tabela 9 - Percentagem de desgaste por componente em correntes FHC

Modelo	Utilização	Alongamento [%]	Contribuição Placas Interiores [%]	Contribuição dos Pinos [%]
EAGLE XX1	BTT	0,09	82,42	17,58
PCXX1	Estrada	0,12	81,70	18,30
EAGLE XX1	BTT	0,22	70,55	29,45
EAGLE X01	Estrada	0,44	46,61	53,39
EAGLE XX1	BTT	0,83	56,86	43,14
RED-D1	Estrada	0,89	60,98	39,02

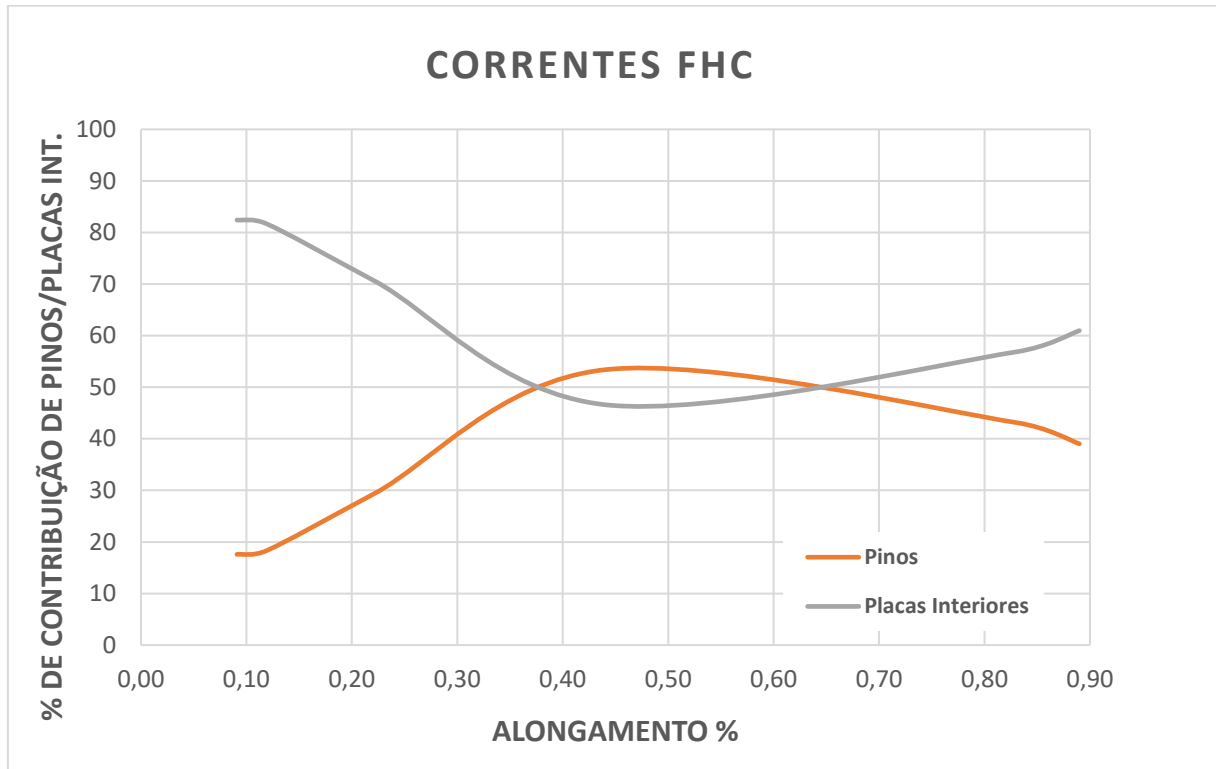


Figura 42 - Contribuição para desgaste por componente em correntes FHC

Após a análise do gráfico anterior os resultados não são os esperados. Neste tipo de correntes os pinos e as placas interiores têm revestimento de crómio duro, pelo que era esperado que numa fase inicial o seu desgaste evoluísse num rácio aproximado de 50/50.

Observa-se que, quer para correntes HC, quer para correntes FHC numa fase inicial o desgaste é quase na totalidade proveniente das placas interiores. No entanto, conforme a corrente vai alongando verifica-se um aumento da contribuição dos pinos, sendo que com o aumento do alongamento, o desgaste vai tendendo para 50% em cada constituinte.

Esta contribuição excessiva das placas interiores pode não ser apenas relativa ao desgaste. As placas interiores a partir de determinado valor de esforço aplicado podem sofrer alguma deformação plástica, alongando o seu passo. Este fenómeno poderá acontecer quer para correntes HC, quer para correntes FHC.

Para compreender melhor o que ocorre nas placas foram analisadas placas de duas correntes ao microscópio. Foram utilizadas placas de uma corrente em fim de vida (0,83% de alongamento), que apresentava um rácio de contribuição no alongamento por componente aproximado a 50/50 para os pinos e para as placas. Foram também utilizadas placas de uma corrente com pouco alongamento (0,09%), mas que

apresentava uma grande diferença na contribuição por componentes, sendo cerca de 80% nas placas e 20% nos pinos.

Após análise ao microscópio de placas interiores da corrente com maior alongamento, conforme esperado observou-se que a camada de crómio já teria sido toda desgastada na zona de contacto com o pino. É possível observar-se a transição entre a zona que ainda tem crómio e a zona onde este revestimento já foi todo desgastado (Figura 43).



Figura 43 – Furo de placa interior de corrente FHC com 0,83% de alongamento

Nas placas interiores da corrente com menor alongamento (0,09%) pelas medições efetuadas, seria de esperar que a camada de crómio tivesse sido toda desgastada na zona de contacto com os pinos. Pelas medições efetuadas anteriormente, em média cada placa teria alongado 0,045mm. Tendo em conta que esta medição é feita entre os dois furos (Figura 39), podemos assumir que o desgaste é proveniente destes, ou seja 0,0225mm de cada furo. Uma vez que a camada de crómio no interior do furo, no máximo, é de apenas 0,005mm, poderíamos concluir que este revestimento teria sido totalmente desgastado na região da placa em contacto com o pino. No entanto após se analisar placas interiores ao microscópio, observou-se que, a camada de crómio ainda não tinha sido totalmente desgastada, conforme se pode observar na Figura 44.



Figura 44 - Furo de placa interior de corrente FHC com 0,09% de alongamento

Ou seja, o alongamento medido ocorreu de facto, no entanto, pelo menos para esta corrente, não é totalmente proveniente de desgaste nos componentes. Parte do alongamento medido é proveniente de deformação plástica que ocorreu nas placas, provocado por um elevado esforço aplicado.

Para se poderem retirar conclusões mais assertivas será necessário realizar mais medições para se ter uma maior amostragem.

9. CONCLUSÃO

O desgaste de uma corrente é, normalmente, o fator determinante para a sua troca, sendo que o desgaste provocado nas suas articulações provoca alongamento do comprimento da corrente e folgas laterais entre os componentes, o que leva a mau funcionamento da mesma, imprecisão e a possibilidade de “saltar” dentes das rodas dentadas, o que pode ser perigoso para o utilizador. Como tal o estudo do desgaste é muito importante para que se possa estar constantemente em melhoria.

Durante a realização deste trabalho foram encontradas algumas dificuldades, tais como, dificuldades de medição, pois quando se mede um componente isoladamente não é fácil saber o ponto exato onde os componentes tocam uns nos outros quando a corrente é tensionada. Este problema é ainda agravado quando a corrente já possui algum desgaste, devido à sua superfície ficar irregular, conduzindo a erros de medição. Outro dos problemas enfrentados foi a reduzida quantidade de amostras. Como os ensaios no terreno demoram muito tempo, uma vez que um ciclista demora normalmente mais de um ano para que a sua corrente atinja o fim de vida, não é possível fazer testes a curto prazo, tendo sido usadas correntes de alguns testes que se encontravam a decorrer no período de realização desta investigação. Para além disto, para não comprometer os resultados dos testes que se encontravam em execução o número de componentes retirados de cada corrente foi reduzido, o que leva a que a amostra seja pequena, provocando erros de medição superiores.

Contudo, foi possível retirar algumas conclusões sobre o desgaste das correntes, tais como a duração superior de correntes de 11 velocidades face às mais modernas, de 12 velocidades, devido à redução da largura. O desgaste verificou-se mais irregular nas correntes utilizadas na prática de BTT face às utilizadas em estrada. Foi também possível concluir que o revestimento de crómio duro (*Hard Chrome*) aumenta significativamente a durabilidade das correntes, mesmo que a partir de certo momento o seu desgaste seja mais rápido do que as correntes que não possuem este revestimento. Em relação à contribuição de cada componente para o alongamento da corrente, pelas medições efetuadas, podemos observar que numa fase inicial o alongamento da corrente provém quase todo da contribuição das placas interiores (desgaste e/ou alongamento), mas ao longo da vida da corrente vai equilibrando com o desgaste dos pinos, ou seja quando uma corrente chega ao fim da sua vida útil o alongamento é derivado aproximadamente 50% das placas interiores e 50% dos pinos. Era esperado que nas correntes FHC o desgaste fosse mais equilibrado entre os pinos e as placas interiores, no entanto parece acontecer o mesmo que nas correntes HC.

No entanto foi observado que pode ocorrer deformação plástica dos componentes, que é facilmente confundido com desgaste uma vez que a sua consequência é o aumento do comprimento da corrente.

Durante a realização deste trabalho foram colocados novos testes em execução que no futuro poderão ser utilizados para dar continuidade a este trabalho e que com mais amostragem se possam ter resultados mais consistentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 9633:2001 Cycle chains — Characteristics and test methods.

FPC (2019). <https://www.fpciclismo.pt/ficheirossite/17112011073000.pdf>. Federação Portuguesa de Ciclismo, Portugal.

Branco, C. Moura, et al. 2005. Projeto de Órgãos de Máquinas. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2005.

Figueiredo, Luís (2009). Comparação do desgaste de correntes de bicicleta em condições de serviço e em laboratório. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.

Malça, C. (2014). Transmissões por correntes. Documentação de Apoio à Unidade Curricular “Órgãos de Máquinas I” da Licenciatura em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

João Carrapichano, (2019). Tribologia – (Atrito e Desgaste) – Documentação de Apoio à Unidade Curricular de “Desgaste e Corrosão” do Mestrado de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

A. Yli-Pentti. Comprehensive Materials Processing, 2014.

ANEXOS

Anexo 1 – Medição de pinos

Medições de pinos FHC		
%	Original	Gasto
0,09	3,652	3,646
	3,652	3,648
	3,647	3,642
	3,651	3,646
Média	3,651	3,646
0,12	3,639	3,631
	3,638	3,635
	3,639	3,635
	3,639	3,633
Média	3,639	3,634
0,22	3,646	3,627
	3,646	3,634
	3,642	3,634
	3,647	3,636
Média	3,645	3,633
0,44	3,639	3,587
	3,641	3,585
	3,637	3,595
	3,643	3,614
Média	3,640	3,595
0,83	3,646	3,604
	3,644	3,601
	3,639	3,560
	3,638	3,553
Média	3,642	3,580
0,86	3,640	3,594
	3,642	3,596
	3,642	3,598
	3,640	3,602
Média	3,641	3,598

Medições de pinos SHC		
%	Original	Gasto
0,2	3,626	3,623
	3,628	3,625
	3,629	3,623
	3,630	3,626
	Média	3,628
0,5	3,630	3,614
	3,643	3,614
	3,644	3,617
	3,639	3,617
Média	3,639	3,616
0,28	3,642	3,630
	3,642	3,630
	3,643	3,630
	3,643	3,629
	Média	3,643
0,77	3,633	3,558
	3,635	3,579
	3,628	3,591
	3,633	3,598
Média	3,632	3,582

Anexo 2 – Medição de placas interiores

Medições de PI (FHC)	
0,09	16,45
	16,44
Média	16,445
0,12	16,44
	16,45
Média	16,445
0,22	16,46
	16,46
	16,44
	16,47
Média	16,458
0,44	16,49
	16,46
Média	16,475
0,83	16,55
	16,56
	16,56
	16,56
Média	16,558
0,86	16,51
	16,51
	16,53
	16,52
Média	16,518

Medições de PI (HC)	
0,20	16,46
	16,45
Média	16,455
0,28	16,46
	16,47
Média	16,465
0,50	16,47
	16,47
	16,48
	16,48
Média	16,475
0,77	16,44
	16,48
	16,50
	16,50
Média	16,48

Anexo 3 – Folha de calculo das medições

#	Contribuição dos pinos	Contribuição Placas	Total	Contribuição das Placas %	Contribuição dos pinos %	Alongamento Teórico (Calculado)	Alongamento Real (Medido)
1	0,300	1,305	1,61	81,3	18,7	0,21	0,09
2	0,273	1,125	1,40	80,5	19,5	0,22	0,12
3	1,450	3,278	4,73	69,3	30,7	0,32	0,22
4	2,327	1,875	4,20	44,6	55,4	0,65	0,44
5	7,221	8,978	16,20	55,4	44,6	1,11	0,83
6	4,611	9,360	13,97	67,0	33,0	1,05	0,86
7	0,240	1,595	1,83	86,9	13,1	0,24	0,20
8	0,689	1,690	2,38	71,1	28,9	0,35	0,28
9	2,679	4,200	6,88	61,1	38,9	0,48	0,50
10	5,380	4,160	9,54	43,6	56,4	0,72	0,77

Anexo 4 – Medição pinos e placas corrente RED 22

Placa Interior			Eixos				
# Placa	Lado A	Lado B	# Eixo	Lado A		Lado B (Azul)	
				Orig.	Gasto	Orig.	Gasto
1	16,51	16,49	1	3,633	3,607	3,63	3,594
2	16,5	16,49	2	3,634	3,582	3,631	3,584
3	16,49	16,5	3	3,631	3,592	3,628	3,583
4	16,53	16,53	4	3,633	3,549	3,628	3,565
5	16,51	16,51	5	3,635	3,58	3,627	3,586
6	16,5	16,49	6	3,633	3,566	3,632	3,586
7	16,5	16,51	7	3,623	3,518	3,623	3,501
8	16,5	16,49	8	3,636	3,604	3,635	3,597
9	16,51	16,51	9	3,624	3,592	3,626	3,598
10	16,5	16,51	10	3,63	3,585	3,628	3,581
11	16,49	16,5	11	3,638	3,579	3,637	3,583
12	16,53	16,52	12	3,628	3,588	3,633	3,584
13	16,48	16,48	13	3,632	3,586	3,635	3,599
14	16,54	16,53	14	3,633	3,581	3,631	3,578
15	16,46	16,45	15	3,629	3,584	3,63	3,586
16	16,47	16,48	16	3,634	3,577	3,637	3,596
17	16,5	16,49	17	3,635	3,597	3,634	3,58
18	16,48	16,48	18	3,623	3,579	3,62	3,571
19	16,45	16,45	19	3,626	3,57	3,63	3,59
20	16,46	16,46	20	3,623	3,554	3,63	3,558
21	16,51	16,49	21	3,629	3,608	3,63	3,61
22	16,49	16,49	22	3,628	3,568	3,631	3,582
23	16,5	16,5	23	3,627	3,563	3,623	3,574
24	16,46	16,47	24	3,629	3,552	3,629	3,587
25	16,45	16,47	25	3,638	3,511	3,636	3,543
			26	3,63	3,603	3,63	3,606
			27	3,633	3,594	3,627	3,6
			28	3,633	3,595	3,627	3,589
			29	3,627	3,581	3,626	3,585
			30	3,628	3,598	3,633	3,605
			31	3,635	3,587	3,63	3,594
			32	3,623	3,604	3,63	3,604
			33	3,635	3,604	3,632	3,602
			34	3,634	3,613	3,631	3,613
			35	3,632	3,59	3,633	3,596
			36	3,638	3,606	3,627	3,602
			37	3,636	3,605	3,632	3,607
			38	3,629	3,596	3,631	3,591
			39	3,633	3,602	3,633	3,606
			40	3,625	3,591	3,629	3,585
			41	3,628	3,567	3,626	3,599
			42	3,624	3,594	3,624	3,584
			43	3,633	3,6	3,632	3,61
			44	3,627	3,602	3,626	3,598
			45	3,631	3,607	3,629	3,608
			46	3,627	3,596	3,631	3,604
			47	3,636	3,601	3,639	3,605
			48	3,629	3,59	3,631	3,574

Anexo 5 – Medição de pinos e placas corrente RED-D1

Placa Interior			Eixos				
# Placa	Lado A	Lado B	# Eixo	Lado A		Lado B	
				Orig.	Gasto	Orig.	Gasto
1	16,55	16,55	1	3,642	3,63	3,645	3,632
2	16,51	16,51	2	3,635	3,6	3,643	3,612
3	16,51	16,51	3	3,641	3,62	3,639	3,622
4	16,53	16,53	4	3,639	3,601	3,638	3,607
5	16,53	16,54	5	3,641	3,608	3,642	3,61
6	16,51	16,51	6	3,642	3,57	3,643	3,577
7	16,51	16,51	7	3,641	3,598	3,636	3,595
8	16,52	16,52	8	3,637	3,574	3,637	3,579
9	16,53	16,54	9	3,641	3,595	3,64	3,593
10	16,52	16,53	10	3,641	3,595	3,643	3,598
11	16,52	16,52	11	3,64	3,614	3,644	3,607
12	16,54	16,54	12	3,642	3,602	3,647	3,605
13	16,54	16,54	13	3,641	3,616	3,641	3,622
14	16,52	16,52	14	3,641	3,583	3,646	3,598
15	16,53	16,54	15	3,641	3,613	3,646	3,613
16	16,51	16,51	16	3,643	3,579	3,644	3,589
17	16,52	16,52	17	3,638	3,61	3,638	3,609
18	16,54	16,55	18	3,636	3,569	3,64	3,572
19	16,52	16,52	19	3,64	3,602	3,642	3,615
20	16,52	16,53	20	3,645	3,609	3,644	3,611
21	16,51	16,51	21	3,64	3,618	3,644	3,615
22	16,5	16,51	22	3,641	3,581	3,642	3,586
23	16,5	16,52	23	3,641	3,601	3,642	3,596
24	16,52	16,53	24	3,645	3,589	3,648	3,592
25	16,52	16,52	25	3,64	3,583	3,643	3,59
			26	3,642	3,578	3,641	3,591
			27	3,635	3,602	3,635	3,609
			28	3,641	3,568	3,641	3,56
			29	3,635	3,617	3,634	3,619
			30	3,64	3,61	3,639	3,608
			31	3,634	3,604	3,636	3,609
			32	3,642	3,602	3,64	3,6
			33	3,639	3,618	3,643	3,619
			34	3,636	3,561	3,638	3,576
			35	3,635	3,616	3,641	3,61
			36	3,633	3,607	3,635	3,608
			37	3,637	3,601	3,642	3,602
			38	3,638	3,585	3,636	3,585
			39	3,64	3,618	3,64	3,607
			40	3,63	3,561	3,643	3,57
			41	3,644	3,62	3,645	3,619
			42	3,638	3,6	3,643	3,606
			43	3,639	3,619	3,641	3,621
			44	3,633	3,587	3,636	3,585
			45	3,641	3,611	3,64	3,618
			46	3,63	3,58	3,635	3,59
			47	3,634	3,61	3,634	3,605
			48	3,629	3,556	3,63	3,558