

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Desgaste de órgãos ativos de máquinas
e implementos agrícolas de preparo do solo:
avaliação bibliográfica**

Claudemir Trevisan

**Dissertação apresentada para obtenção
do título de Mestre em Agronomia. Área
de concentração: Máquinas Agrícolas**

**Piracicaba
2007**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Claudemir Trevisan
Engenheiro Mecânico

Desgaste de órgãos ativos de máquinas
e implementos agrícolas de preparo do solo:
avaliação bibliográfica

Orientador:
Prof. Dr. **CASIMIRO DIAS GADANHA JR.**

Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Agronomia. Área de
concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Trevisan, Claudemir

Desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo:
avaliação bibliográfica / Claudemir Trevisan. - - Piracicaba, 2007.
74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Máquinas agrícolas 2. Preparo do solo 3. Tecnologia agrícola 4. Tipologia do solo
I. Título

CDD 631.3

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Maria Odete e a minha filha Gisele, que sempre estiveram ao meu lado durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela vida, pela saúde, pela minha família e por todas as oportunidades profissionais que de forma tão generosa sempre me concedeu.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Engenharia Rural por terem me recebido no curso de Mestrado em Máquinas Agrícolas.

Ao meu orientador Professor Doutor Casimiro Dias Gadanha Junior, que sempre me ajudou nas horas mais difíceis na minha estada dentro da ESALQ.

Ao Professor Ophir Figueiredo Junior, diretor da Escola SENAI “Mário Dedini”, pela oportunidade dada, sem a qual não seria possível a conclusão dos estudos.

Às bibliotecárias Eliana M. Garcia e Sílvia M. Zinsly, da ESALQ/USP, pelo auxílio na formatação das referências bibliográficas.

A todos os professores que tive contato no período de estudos.

RESUMO

Desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo: avaliação bibliográfica

O desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo tem sido alvo de vários estudos pela comunidade científica que relaciona tal ocorrência com o desempenho operacional, vida útil, material e técnica de fabricação. Este desgaste ocorre independentemente do tipo de manejo do solo, porém, determinadas práticas podem potencializá-lo a ponto de comprometer as condições desejadas de implantação de uma cultura em virtude da modificação geométrica da sua extremidade de corte. Órgão ativo comprometido aumenta a força de tração e por conseqüência acarreta aumento no consumo de combustível. Diversas variáveis podem influenciar o desgaste entre as quais se destacam a velocidade de trabalho, teor de água do solo, material de fabricação e tratamento térmico. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi de descrever os principais tipos de ensaios de materiais, bem como construir uma avaliação crítica, com base na literatura encontrada, sobre desgaste de órgãos ativos analisando as metodologias e os resultados. Considera-se tal análise de grande relevância para agricultores, para indústria e para pesquisadores de modo geral.

Palavras-chave: Órgãos ativos; Desgaste; Teste de materiais; Abrasão; Dureza

ABSTRACT

Wear of tillage tools by agricultural implements: literature evaluation

The wear of tillage tools by agricultural implements has been aim of some studies of scientific community that such occurrence with operational performance relates useful, material and technique manufacture. This wear occurs independently of the type handling of the soil, however, determined practical can to increase it point to compromise the desired conditions of implantation culture in virtue of the geometric modification of the cutting edge. Compromised tillage tool increases the draft force and for consequence it causes increase the fuel consumption. Some variable can influence the wear, among which if they detach the work speed, moisture, manufacture material and heat treatment. Ahead of this, the aim of this work was to describe the main types of tests about subject, as well to make a critical evaluation of joined literature. Such analysis of great relevance for farmers, industry and researchers in general way is considered.

Keywords: Tools tillage; Wear; Material tests; Abrasion; Hardness

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Avaliação histórica da dureza.....	11
2.1.1 Ensaio de dureza Brinell.....	12
2.1.1.1 Seleção das condições de ensaio.....	15
2.1.1.2 Representação dos resultados obtidos.....	16
2.1.1.3 Vantagens e limitações do ensaio Brinell.....	17
2.1.2 Ensaio de dureza Rockwell.....	18
2.1.2.1 Equipamento para ensaio de dureza Rockwell.....	20
2.1.2.2 Representação da dureza Rockwell.....	22
2.1.2.3 Profundidade de penetração.....	22
2.1.3 Ensaio de dureza Vickers.....	23
2.1.3.1 Cálculo de dureza Vickers.....	24
2.1.3.2 Representação do resultado do ensaio.....	26
2.1.3.3 Vantagens e limitações do ensaio Vickers.....	28
2.2 Tratamentos térmicos.....	28
2.3 Classificação das máquinas de preparo do solo.....	31
2.4 Ação dos órgãos ativos.....	33
2.5 Análise dos trabalhos.....	34
2.6 Materiais utilizados atualmente.....	63
3 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIA	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Penetrador Brinell	12
Figura 2 - Durômetro Brinell	17
Figura 3 - Mostrador do durômetro Rockwell	18
Figura 4 - Penetradores esférico (A) e diamante (B).....	19
Figura 5 - Representação produzida por um penetrador cônico de diamante.....	19
Figura 6 - Durômetro Rockwell.....	20
Figura 7 – Geometria da ferramenta utilizada para avaliar a dureza Vickers.....	24
Figura 8 - Mostrador da máquina de ensaio Vickers	25
Figura 9 - Máquina de ensaio de dureza Vickers	26
Figura 10 - Impressão microscópica após ensaio	27
Figura 11 - Tipos de impressões deixadas pela máquina Vickers.....	27
Figura 12 - Diagrama ferro-carbono	30
Figura 13 - Ação dos órgãos ativos.....	34
Figura 14 - Máquina geradora de desgaste nos órgãos ativos.....	40
Figura 15 - Carta 16 – Taxa de desgaste x pressão de contato.....	54
Figura 16 - Máquina para desgaste das ponteiros	61
Figura 17 - Modelo para determinar a resistência do solo	62
Figura 18 - Arado reversível IKEDA MR 3P	63
Figura 19 - Detalhe da ponteira com revestimento de eletrodo.....	64
Figura 20 - Vista parcial da haste e ponteira do arado da BALDAN.....	64
Figura 21 - Arado AARP da TATU	65
Figura 22 - Haste do subsolador da TATU	65
Figura 23 - Cultivador com ponta alada da DRIA 2.00.11.503	66
Figura 24 - Cultivador de ponteira dupla da DRIA 2.00.11.513	66
Figura 25 - Arado subsolador da Piccin	67
Figura 26 - Sulcador da Piccin	67
Figura 27 - Haste do sulcador da JM 2960 da Jumil	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de dureza Brinell normal em função de um diâmetro de impressão d.....	14
Tabela 2 - Fatores de carga utilizado para cálculo.....	15
Tabela 3 - Diâmetro de esferas e fatores de carga	16
Tabela 4 - Escala de dureza Rockwell (A)	21
Tabela 5 - Escala de dureza Rockwell (B)	21
Tabela 6 - Materiais tratados e suas respectivas durezas	35
Tabela 7 - Valores médios das taxas de desgaste.....	36
Tabela 8 - Valores médios das taxas de desgaste Perfil P4	36
Tabela 9 - Desgaste dos corpos de prova.....	41
Tabela 10 - Perda do material em gramas	42
Tabela 11 - Desgaste das ponteiros nos ensaios de campo.....	45
Tabela 12 - Comparação dos testes de campo x laboratório	50

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

- São designados quatro algarismos para identificar os tipos de aços;
- Os dois primeiros algarismos indicam o tipo e o teor aproximado dos elementos da liga;
- Os dois últimos algarismos especificam o teor de carbono;
- As letras XX correspondem aos algarismos indicativos dos teores de carbono;
- A letra E indica aço produzido em forno elétrico;
- A letra B designa aço ao boro;
- Quando o primeiro algarismo é 1, os aços são simplesmente aços-carbono, desprezando-se seus teores mínimos de manganês, silício, fósforo e enxofre. Nesse caso, esses teores são considerados iguais a zero;
- Quando o primeiro algarismo for:
 - 2 trata-se de aço ao níquel;
 - 3 trata-se de aço ao níquel-cromo;
 - 4 trata-se de aço ao molibdênio;
 - 5 trata-se de aço ao cromo;
 - 6 trata-se de aço ao cromo-vanádio;
 - 7 trata-se de aço ao tungstênio;
 - 8 trata-se de aço ao níquel-cromo-molibdênio;
 - 9 trata-se de aço ao silício-manganês.

AISI - American Iron and Steel Institute

ANSI - American National Standards Institute

DIN - Deutsches Institut für Normung

ISO - International Organization for Standardization

SAE - Society of Automotive Engineers

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

1 INTRODUÇÃO

A operação agrícola de preparo do solo é executada a milhares de anos e observa-se que com o passar do tempo muitos avanços tem ocorrido no aspecto de manejo e de otimização no desempenho das máquinas e implementos utilizados. Um dos principais problemas com esses equipamentos que prejudicam seu desempenho é o desgaste causado pelas partículas do solo em seus órgãos ativos. Esse processo de desgaste é de natureza abrasiva e resulta em custos adicionais diretos, quer seja para refazer a extremidade cortante ou troca da parte desgastada e pelo aumento do consumo de combustível e diminuir a sua capacidade operacional . Os parâmetros do solo que influem na taxa de desgaste são: textura, forma e tamanho das partículas, teor de água e densidade. Os fatores operacionais que influenciam na taxa de desgaste são: velocidade, profundidade e pressão exercida no órgão ativo. Os fatores importantes dos materiais de fabricação são: composição química, propriedades mecânicas e sua microestrutura. O desgaste desses órgãos ativos ocorre porque os materiais utilizados são menos resistentes à abrasão do que os componentes do solo, resultando numa alteração de sua extremidade de corte. Têm sido desenvolvidas várias técnicas durante os últimos anos para aumentar à resistência a abrasão de órgãos ativos utilizados no preparo do solo, seja através de tratamentos de superfície ou através de novos materiais. O objetivo do trabalho foi de descrever os tipos de ensaios de materiais e analisar a bibliografia relacionada ao desgaste de órgãos ativos utilizados em máquinas de preparo do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dureza de um material é um conceito relativamente complexo de definir, originando diversas interpretações. No dicionário Aurélio (2007), a palavra dureza é qualidade ou estado de duro, rjeza . Duro, por sua vez, é definido como difícil de ser penetrado ou riscado, consistente, sólido.

Para Penteado (2003), a definição de dureza assume um significado diferente conforme o contexto em que é empregada. Na área da metalurgia, considera-se dureza como a resistência à deformação plástica permanente. Isso porque uma grande parte da metalurgia consiste em deformar plasticamente os metais. Na área da mecânica, é a resistência à penetração de um material duro no outro, pois esta é uma característica que pode ser facilmente medida. Na área de projetos, é uma base de medida, que serve para conhecer a resistência mecânica e o efeito do tratamento térmico ou mecânico em um metal. Além disso, permite avaliar a resistência do material ao desgaste. Para um técnico em usinagem, é a resistência ao corte do metal, pois este profissional atua com corte de metais, e a maior ou menor dificuldade de usinar um metal é caracterizada como maior ou menor dureza. Na mineralogia, é a resistência ao risco que um material pode produzir em outro. Esse é um dos critérios usados para classificação de minerais. A dureza não é uma propriedade absoluta pois, tem sentido falar em dureza quando se comparam materiais, isto é, só existe um material duro quando houver outro com menos resistência. É importante destacar que, apesar das diversas definições, um material com grande resistência à deformação plástica permanente também terá alta resistência ao desgaste, alta resistência ao corte e será difícil de ser riscado, ou seja, será duro em qualquer uma dessas situações.

2.1 Avaliação histórica da dureza

Segundo Guibert et al. (2000) há registros de que no século XVII já se avaliava a dureza de pedras preciosas, esfregando-as com uma lima. No século XVIII, desenvolveu-se um método para determinar a dureza do aço, riscando-o com minerais diferentes. O primeiro método padronizado de ensaio de dureza do qual se tem notícia, baseado no processo de riscagem, foi desenvolvido por Mohs, em 1822. Este método deu origem à escala de dureza Mohs, que apresenta dez minérios-padrões, sendo: talco (grau 1),

gipsita, calcita, fluorita, apatita, feldspato, quartzo, topázio, coríndon, diamante (grau 10), ordenados numa escala crescente do grau 1 ao 10, de acordo com sua capacidade de riscar ou ser riscado. Esta escala não é conveniente para os metais, porque a maioria deles apresenta durezas Mohs 4 e 8, e pequenas diferenças de dureza não são acusadas por este método. Um aço dúctil corresponde a uma dureza de 6 Mohs, a mesma dureza Mohs de um aço temperado. As limitações da escala Mohs levaram ao desenvolvimento de outros métodos de determinação de dureza, mais condizentes com o controle do aço e de outros metais.

2.1.1 Ensaio de dureza Brinell

O ensaio de dureza Brinell consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço temperado, de diâmetro D , sobre uma superfície plana, polida e limpa de um metal, por meio de uma carga aplicada F , durante um tempo t , produzindo uma calota esférica de diâmetro d , mostrado na Figura 1. A dureza Brinell é representada pelas letras HB. Esta representação vem do inglês Hardness Brinell. (Guibert et al. ,2000)

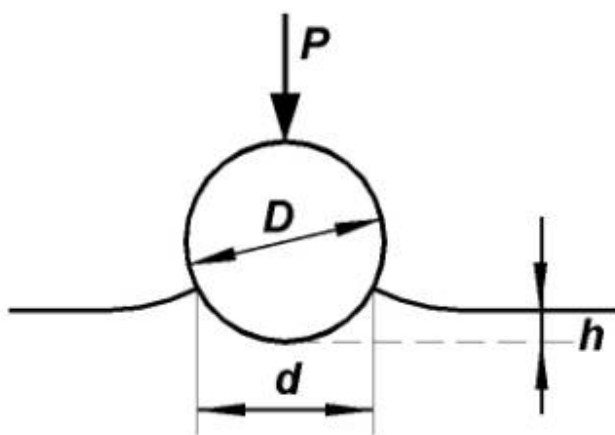


Figura 1- Penetrador Brinell (Fonte: www.utp.edu.co/~gcalle/Contenidos/DurezaHB.htm)

A dureza Brinell (HB) é a relação entre a carga aplicada (F) e a área da calota esférica impressa no material ensaiado (A_c).

$$HB = \frac{F}{A_c} \quad (1)$$

onde:

HB é a dureza dada em Brinell

F é a carga aplicada sobre a esfera em Kgf

Ac é a área da calota esférica em mm²

A área da calota esférica é dada pela equação abaixo:

$$A_c = \pi D p \quad (2)$$

onde:

D é o diâmetro da esfera

p é a profundidade da calota

Substituindo (2) em (1), temos:

$$HB = \frac{F}{\pi D p} \quad (3)$$

onde:

HB é a dureza dada em Brinell

F é a carga aplicada sobre a esfera em Kgf

D é o diâmetro da esfera em mm

Devido à medição da profundidade (p), que é um valor muito pequeno, utiliza-se uma relação matemática entre a profundidade (p) e o diâmetro da calota (d) para chegar à equação matemática que permite o cálculo da dureza HB, representada a seguir:

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

onde:

HB é a dureza dada em Brinell

F é a carga aplicada sobre a esfera em kgf

D é o diâmetro da esfera em mm

d é o diâmetro da calota em mm

A unidade kgf/mm², que deveria ser sempre colocada após o valor de HB, é omitida, uma vez que a dureza Brinell não é um conceito físico satisfatório, pois a força aplicada no material tem valores diferentes em cada ponto da calota. Os cálculos anteriores são dispensáveis, se você dispuser de uma tabela apropriada, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Valores de dureza Brinell normal, em função de um diâmetro de impressão d

Dureza brinell em função do diâmetro da impressão (diâmetro da esfera do penetrador: 10 mm)			
d (mm)	HB (F = 3000 kgf)	d (mm)	HB (F = 3000 kgf)
2,75	495	4,05	223
2,80	477	4,10	217
2,85	461	4,15	212
2,90	444	4,20	207
2,95	429	4,25	201
3,00	415	4,30	197
3,05	401	4,35	192
3,10	388	4,40	187
3,15	375	4,45	183
3,20	363	4,50	179
3,25	352	4,55	174
3,30	341	4,60	170
3,35	331	4,65	167
3,40	321	4,70	163
3,45	311	4,75	159
3,50	302	4,80	156
3,55	293	4,85	152
3,60	285	4,90	149
3,65	277	4,95	146
3,70	269	5,00	143
3,75	262	5,10	137
3,80	255	5,20	131
3,85	248	5,30	126
3,90	241	5,40	121
3,95	235	5,50	116
4,00	229	5,60	111

Fonte: Ensaio de materiais (2000)

Skinner e Lasater,(1942) citado por Barros (2002) analisaram os efeitos do tratamento térmico sobre a dureza Brinell e a sua relação com a resistência à abrasão de 6 ligas odontológicas de ouro contra amostras de esmalte dental. Os corpos de prova foram fundidos e submetidos a testes de abrasão e dureza Brinell, antes e após o tratamento. A resistência à abrasão foi determinada pela perda de massa. Os autores

constataram proporcionalidade de resultados que, segundo eles, sugeria possível relação inversa entre ductilidade e resistência à abrasão.

Miscow e Miranda, 2003, citam em seu trabalho sobre análise do comportamento em tração uniaxial, o uso da escala Brinell para medição da dureza na superfície transversal do tubo feito em liga de alumínio para perfuração de poços de petróleo.

2.1.1.1 Seleção das condições de ensaio

O ensaio padronizado, proposto por Brinell, é realizado com carga de 3.000 kgf e esfera de 10 mm de diâmetro, de aço temperado. Quando utilizam-se cargas e esferas diferentes, é possível chegar ao mesmo valor de dureza, desde que se observem algumas condições: a carga será determinada de tal modo que o diâmetro de impressão d se situe no intervalo de 0,25 a 0,5 do diâmetro da esfera D , a impressão será considerada ideal se o valor de d ficar na média entre os dois valores anteriores, 0,375 mm. Para obter um diâmetro de impressão dentro do intervalo citado, deve-se manter constante a relação entre a carga (F) e o diâmetro ao quadrado da esfera do penetrador (D^2), ou seja, a relação $F \times (D^2)^{-1}$ chamada fator de carga. Para padronizar o ensaio, foram fixados valores de fatores de carga de acordo com a faixa de dureza e o tipo de material. A Tabela 2 mostra os principais fatores de carga utilizados e respectivas faixas de dureza e indicações.

Tabela 2 - Fatores de carga utilizados para cálculo

$F \times (D^2)^{-1}$	DUREZA	MATERIAIS
30	90 a 415 HB	Aços e ferros fundidos
10	30 a 140 HB	Cobre, alumínio e suas ligas mais duras.
5	15 a 70 HB	Ligas antifricção, cobre, alumínio e suas ligas mais moles.
2,5	até 30 HB	Chumbo, estanho, antimônio e metais-patente

Fonte: Copertec (2007)

O diâmetro da esfera é determinado em função da espessura do corpo de prova ensaiado. A espessura mínima é indicada em normas técnicas de método de ensaio. No caso da norma brasileira, a espessura mínima do material ensaiado deve ser 17 vezes a

profundidade da calota. A Tabela 3 mostra os diâmetros de esfera mais usados e os valores de carga para cada caso, em função do fator de carga escolhido.

Tabela 3 - Diâmetros de esferas e fatores de carga

Diâmetro da esfera(mm)	$F(\text{Kgf})=30D^2$	$F(\text{Kgf})=10D^2$	$F(\text{Kgf})=5D^2$	$F(\text{Kgf})=2.5D^2$
10	3000	1000	500	250
5	750	250	125	62.5
2.5	187.5	62.5	31.25	15.625

Fonte: Copertec (2007)

Na tabela 3, os valores de carga foram determinados a partir das relações entre F e D^2 indicadas na tabela 2.

2.1.1.2 Representação dos resultados obtidos

O número de dureza Brinell deve ser seguido pelo símbolo HB, sem qualquer sufixo, sempre que se tratar do ensaio padronizado, com aplicação da carga durante 15 segundos. Em outras condições, o símbolo HB recebe um sufixo formado por números que indicam as condições específicas do teste, na seguinte ordem: diâmetro da esfera, carga e tempo de aplicação da carga. O valor 85HB 10/1000/30 significa uma dureza Brinell 85, medido com uma esfera de 10 mm de diâmetro e uma carga de 1.000 kgf, aplicada por 30 segundos. O tempo de aplicação da carga varia de 15 a 60 segundos, sendo de 15 segundos para metais com dureza Brinell maior que 300; 60 segundos para metais moles, como o chumbo, estanho, metais-patente, entre outros, e de 30 segundos para os demais casos. A medida do diâmetro da calota (d) deve ser obtida pela média de duas leituras obtidas a 90° uma da outra, e de maneira geral não pode haver diferença maior que 0,06 mm entre as duas leituras, para esferas de 10 mm. (Guibert et al. ,2000)

Mendes e Leta (2003), citado por (Mendes e Leta, 2004), especifica que em medições de identações de dureza Vickers e Brinell, é importante adicionar o fato de que as marcas de identificação não exibem linhas de contorno bem definidos.

2.1.1.3 Vantagens e limitações do ensaio Brinell

O ensaio Brinell é utilizado para avaliação de dureza de metais não ferrosos, ferro fundido, aço, produtos siderúrgicos em geral e de peças não temperadas. Na área agrícola, pode ser utilizado para medições de dureza de equipamentos que terão contato com o solo. É o único ensaio utilizado e aceito para ensaios em metais que não tenham estrutura interna uniforme. É feito em equipamento de fácil operação conforme mostrado na Figura 2. Por outro lado, o uso deste ensaio é limitado pela esfera empregada. Usando-se esferas de aço temperado, só é possível medir dureza até 500 HB, pois durezas maiores danificariam a esfera. (Guibert et al.,2000)



Fig 2 - Durômetro Brinell (Fonte: <http://www.mitutoyo.com>)

A recuperação elástica é uma fonte de erros, pois o diâmetro da impressão não é o mesmo quando a esfera está em contato com o metal e depois de aliviada a carga. Isto é mais sensível quanto mais duro for o metal. O ensaio não deve ser realizado em superfícies cilíndricas com raio de curvatura menor que 5 vezes o diâmetro da esfera utilizada, porque haveria escoamento lateral do material e a dureza medida seria menor que a real. (Ensaio de dureza Copertec, 2007)

2.1.2 Ensaio de dureza Rockwell

Para Penteadó (2003), no início do século XX houve muitos progressos no campo da determinação da dureza. Em 1922, Rockwell desenvolveu um método de ensaio de dureza que utilizava um sistema de pré-carga. Este método apresenta algumas vantagens em relação ao ensaio Brinell, pois permite avaliar a dureza de metais diversos, desde os mais moles até os mais duros. O ensaio Rockwell, que leva o nome do seu criador, é hoje o processo mais utilizado no mundo inteiro, devido à rapidez e à facilidade de execução, facilidade em detectar pequenas diferenças de durezas e pequeno tamanho da impressão.

Martins et al. (2003), desenvolveu estudo para o estabelecimento de tratamentos térmicos de blocos-padrão de dureza em diferentes escalas de dureza Rockwell. Neste método, a carga do ensaio é aplicada em etapas. No primeiro estágio se aplica uma pré-carga, para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado, e depois aplica-se a carga do ensaio propriamente dita. A leitura do grau de dureza é feita diretamente num mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala predeterminada, adequada à faixa de dureza do material, como mostrado na Figura 3.



Figura 3 - Mostrador do durômetro Rockwell

Os penetradores utilizados na máquina de ensaio de dureza Rockwell são do tipo esférico (esfera de aço temperado) ou cônico (cone de diamante com 120° de conicidade), conforme Figura 4.



Figura 4 - Vista de penetradores esférico (A) e diamante(B).

Quando se utiliza o penetrador cônico de diamante, deve-se fazer a leitura do resultado na escala externa do mostrador, de cor preta. Ao se usar o penetrador esférico, faz-se a leitura do resultado na escala vermelha. Nos equipamentos com mostrador digital, uma vez fixada a escala a ser usada, o valor é dado diretamente na escala determinada. A profundidade da impressão produzida pela carga maior é a base de medida do ensaio Rockwell. A Figura 5 mostra a representação esquemática da profundidade produzida por um penetrador cônico de diamante.

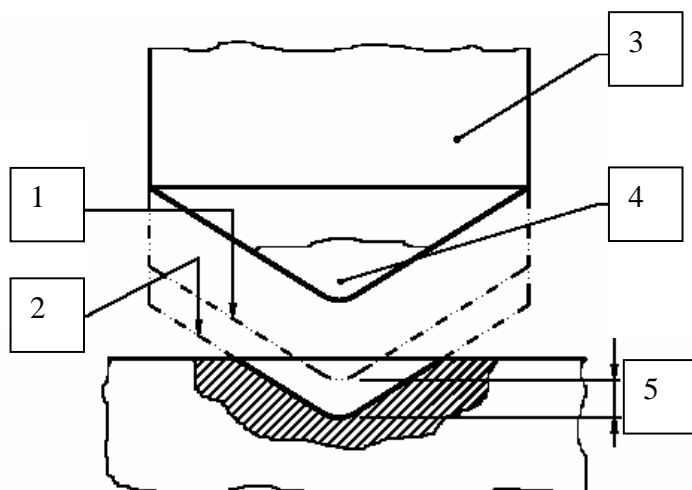


Figura 5 - Representação produzida por um penetrador cônico de diamante. Fonte: LRM

1- Profundidade causada pela pré-carga, 2- Profundidade causada pela carga maior, 3 – Penetrador, 4 – Ponta de diamante, 5 – Medida linear que é base de leitura do resultado de dureza.

2.1.2.1 Equipamento para ensaio de dureza Rockwell

Pode-se realizar o ensaio de dureza Rockwell em dois tipos de máquinas, ambas com a mesma técnica de operação, que diferem apenas pela precisão de seus componentes. A máquina padrão mede a dureza Rockwell normal e é indicada para avaliação de dureza em geral, conforme Figura 6.



Figura 6 - Durômetro Rockwell. Fonte: www.unizar.es

A máquina mais precisa mede a dureza Rockwell superficial, e é indicada para avaliação de dureza em folhas finas, lâminas bem como camadas superficiais de materiais. Na máquina Rockwell normal, cada divisão da escala equivale a 0,02 mm; na máquina Rockwell superficial, cada divisão equivale a 0,01 mm. As escalas de dureza Rockwell foram determinadas em função do tipo de penetrador e do valor da carga maior. Nos ensaios de dureza Rockwell normal utiliza-se uma pré-carga de 10 kgf e a carga maior pode ser de 60, 100 ou 150 kgf. Nos ensaios de dureza Rockwell superficial a pré-carga é de 3 kgf e a carga maior pode ser de 15, 30 ou 45 kgf. Estas escalas não têm relação entre si. Por isso, não faz sentido comparar a dureza de materiais submetidos a ensaio de dureza Rockwell utilizando escalas diferentes, ou seja, um material ensaiado numa escala só pode ser comparado a outro material ensaiado na mesma escala. (Guibert et al.,2000)

As Tabelas 4 e 5 mostram as escalas mais utilizadas nos processos industriais.

Tabela 4 - Escala de dureza Rockwell normal e aplicações

Escala	Cor da escala	Carga maior	Penetrador	Faixa de utilização	Campo de aplicação
A	Preta	60	Diamante cone 120°	20 a 80 HRA	Carbonetos, folhas de aço com fina camada superficial endurecida
C	Preta	150	Diamante cone 120°	20 a 70 HRC	Aço, titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com HRB>100
D	Preta	100	Diamante cone 120°	40 a 77 HRD	Chapas finas de aço com media camada endurecida
B	Vermelha	100	Esfera aço 1,5875 mm	20 a 100 HRB	Ligas de cobre, aços brandos alumínio, ferro maleável
E	Vermelha	100	Esfera aço 3,175 mm	70 a 100 HRB	Ferro fundido, ligas de alumínio e de magnésio.
F	Vermelha	60	Esfera aço 1,5875 mm	60 a 100 HRF	Ligas de cobre recozidas, folhas finas de metais moles.
G	vermelha	150	Esfera aço 1,5875 mm	30 a 94 HRG	Ferro maleável, ligas de cobre-níquel-zinco e de cobre-níquel
H	Vermelha	60	Esfera aço 3,175 mm	80 a 100 HRH	Alumínio, zinco, chumbo
K	vermelha	150	Esfera aço 3,175 mm	40 a 100 HRK	Metais de mancais e outros muito moles ou finos

Fonte: Comtron (2007)

Tabela 5 - Escala de dureza Rockwell normal e aplicações

Escala	Cor da escala	Carga maior	penetrador	Faixa de utilização	Campo de aplicação
15 N	Preta	15	Diamante cone 120°	65 a 90 Hr 15N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD
30 N	Preta	30	Diamante	40 a 80 HR 30N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD
45 N	Preta	45	Diamante	35 a 70 HR 45N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD
15 T	Vermelha	15	Esfera aço 1,5875 mm	50 a 94 HR 15T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG
30 T	Vermelha	30	Esfera aço 1,5875 mm	10 a 84HR 30T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG
45 T	Vermelha	45	Esfera aço 1,5875 mm	10 a 75 HR 45T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG

Fonte: Comtron (2007)

2.1.2.2 Representação da dureza Rockwell

O número de dureza Rockwell deve ser seguido pelo símbolo HR, com um sufixo que indique a escala utilizada.

Interpretando o resultado 64HRC, tem se :

- - 64 é o valor de dureza obtido no ensaio;
- - HR indica que se trata de ensaio de dureza Rockwell;
- - a última letra, no exemplo C, indica qual a escala empregada.

Ao fazer um ensaio de dureza Rockwell na escala C, recorre-se aos quadros apresentados anteriormente, que trazem as escalas de dureza Rockwell, sendo possível identificar as condições de realização do ensaio.

- Uma vez que o ensaio deve ser feito na escala C, sabemos que se trata de um ensaio de dureza Rockwell normal.
- No ensaio de dureza Rockwell normal, a máquina a ser utilizada é a padrão.
- O penetrador para esta escala é o cônico de diamante.
- O penetrador deve ter 120° de conicidade.
- A carga maior do ensaio é de 150 kgf.
- A leitura do resultado é feita na escala preta do relógio.

Pinedo (2004) avalia a dureza do substrato antes e após a nitretação utilizando a escala Rockwell C para conhecer o endurecimento superficial de aços-ferramenta.

Button e Gentile (2001) desenvolveram estudo do processo de Cross-Wedge Rolling para a produção de eixos escalonados com aços microligados , onde afirmam que o modo de resfriamento do material afeta significativamente os valores de dureza do material.

2.1.2.3 Profundidade de penetração

A profundidade que o penetrador vai atingir durante o ensaio é importante para definir a espessura mínima do corpo de prova. De modo geral, a espessura mínima do corpo de prova deve ser 17 vezes a profundidade atingida pelo penetrador. Não há meios de medir a profundidade exata atingida pelo penetrador no ensaio de dureza Rockwell. É possível obter a medida aproximada desta profundidade (P), a partir do

valor de dureza indicado na escala da máquina de ensaio, utilizando as equações a seguir:

- Penetrador de diamante:

$$\text{HR normal: } P = 0,002 \times (100 - \text{HR}) \quad (5)$$

$$\text{HR superficial: } P = 0,001 \times (100 - \text{HR}) \quad (6)$$

- Penetrador esférico:

$$\text{HR normal: } P = 0,002 \times (130 - \text{HR}) \quad (7)$$

$$\text{HR superficial: } P = 0,001 \times (100 - \text{HR}) \quad (8)$$

No exemplo dado, a profundidade aproximada de penetração que será atingida ao ensaiar um material com dureza estimada de 40HRC é de 0,12 mm. Consultando as tabelas com as escalas de dureza Rockwell, sabe-se que a escala C se refere à dureza Rockwell normal e que esta escala utiliza penetrador de diamante. O passo seguinte é escolher a expressão (9) e fazer o cálculo.

$$P = 0,002 \times (100 - \text{HR}) \quad (9)$$

O ensaio de dureza Rockwell tornou possível avaliar a dureza de materiais que não poderiam ser submetidos ao ensaio Brinell. Mesmo assim, há situações em que nem o ensaio Brinell nem o Rockwell são recomendáveis.

2.1.3 Ensaio de dureza Vickers

Smith e Sandland, 1925, desenvolveram um método de ensaio que ficou conhecido como ensaio de dureza Vickers. Este método leva em conta a relação ideal entre o diâmetro da esfera do penetrador Brinell e o diâmetro da calota esférica obtida, e vai além porque utiliza outro tipo de penetrador, que possibilita medir qualquer valor de dureza, incluindo desde os materiais mais duros até os mais moles. Isso não quer dizer que o ensaio Vickers resolva todos os problemas de avaliação de dureza dos materiais.

Nascimento et al. (2001) citado por (Mendes e Leta, 2004), destaca o erro obtido por um software analisador de imagens comercial (Media Cybernetics Image-Pro Plus 4.0), aplicado para medições de dureza Vickers, através da extração da característica área.

2.1.3.1 Cálculo da dureza Vickers

O ensaio desenvolvido por (Smith e Sandland, 1925) ficou conhecido como ensaio de dureza Vickers porque a empresa que fabricava as máquinas mais difundidas para operar com este método chamava-se Vickers-Armstrong. A dureza Vickers se baseia na resistência que o material oferece à penetração de uma pirâmide de diamante de base quadrada e ângulo entre faces de 136° , sob uma determinada carga, Figura 7.

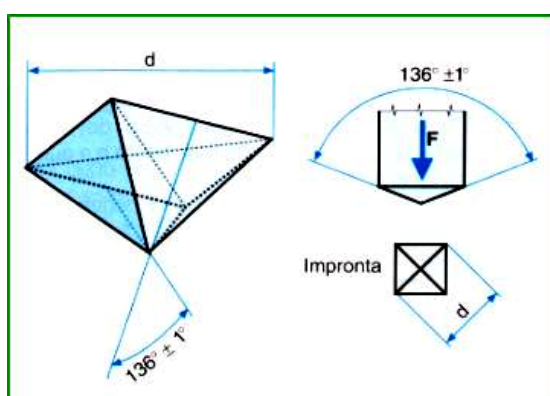


Figura 7 – Geometria da ferramenta utilizada para avaliar a dureza Vickers. Fonte: <http://csaslirelli.scuole.piemonte.it/mediesuperiori/tecnologia/gatto/prova%20di%20durezza%20vickers.htm>

O valor de dureza Vickers (HV) é o quociente da carga aplicada (F) pela área de impressão (A) impressa no corpo ensaiado, expressada pela seguinte equação:

$$HV = \frac{F}{A} \quad (10)$$

A máquina que faz o ensaio Vickers não fornece o valor da área de impressão da pirâmide, mas permite obter, por meio de um microscópio acoplado, conforme Figura 8, as medidas das diagonais (d1 e d2) formadas pelos vértices opostos da base da pirâmide.

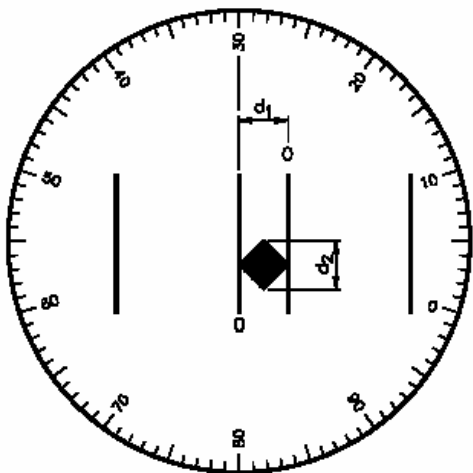


Figura 8 - Visor da máquina de ensaio Vickers. Ensaio de materiais (2000)

Conhecendo as medidas das diagonais, é possível calcular a área da pirâmide de base quadrada (A), utilizando a equação:

$$A = \frac{d^2}{2 \operatorname{sen}\left(\frac{136^\circ}{2}\right)} \quad (11)$$

Na equação 10 para cálculo da HV, substitui A pela equação 11:

$$HV = \frac{F}{\frac{d^2}{2 \operatorname{sen}68^\circ}} \Rightarrow HV = \frac{1,8544F}{d^2} \quad (12)$$

Na equação 12, a força deve ser expressa em quilograma-força (kgf) e d corresponde à diagonal média, ou seja:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (13)$$

O d deve ser expresso em milímetro (mm), dessa forma se a máquina der o resultado em micron (μ), esse valor deve ser convertido em milímetro. Para encontrar o valor de dureza Vickers de um material que apresentou 0,24 mm e 0,26 mm de medida de diagonal da impressão, após aplicação de uma força de 10 kgf, basta utilizar as equações apresentadas. Primeiro, calcula-se o valor da diagonal média, que corresponde a:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,24 + 0,26}{2} \Rightarrow d = 0,25 \quad (14)$$

Substituem-se os termos da equação de cálculo de dureza pelos valores conhecidos e fazem-se os cálculos:

$$HV = \frac{1,8544F}{d^2} = \frac{1,8544 \times 10}{0,25^2} \Rightarrow HV = 296,7 \quad (15)$$

2.1.3.2 Representação do resultado do ensaio

A dureza Vickers é representada pelo valor de dureza, seguido do símbolo HV e de um número que indica o valor da carga aplicada. A representação 440 HV 30 indica que o valor da dureza Vickers é 440 e que a carga aplicada foi de 30 kgf. O tempo normal de aplicação da carga varia de 10 a 15 segundos. Quando a duração da aplicação da carga é diferente, indica-se o tempo de aplicação após a carga. Por exemplo, na representação: 440 HV 30/20, o último número indica que a carga foi aplicada por 20 segundos. As cargas aplicadas podem ser de qualquer valor, porque as impressões são sempre proporcionais, para um mesmo material, ou seja, o valor de dureza permanecerá constante. Por uma questão de padronização, são recomendadas: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 kgf. Para cargas muito altas (acima de 120 kgf), em vez do penetrador de pirâmide de diamante pode-se também usar esferas de aço temperado de 1 ou 2 mm de diâmetro na mesma máquina. Neste caso, o ensaio feito na máquina Vickers, Figura 9 é o ensaio de dureza Brinell.



Figura 9 - Máquina de ensaio de dureza Vickers. Fonte: www.equitec.com.mx

Para aplicações específicas, voltadas principalmente para superfícies tratadas por cementação, têmpera ou para a determinação de dureza de microconstituintes individuais de microestrutura, utiliza-se o ensaio de microdureza Vickers. A microdureza Vickers envolve o mesmo procedimento prático que o ensaio Vickers, utilizando cargas menores que 1 kgf. Na microdureza, como a carga aplicada é pequena, a impressão produzida é microscópica, como mostra a Figura 10.

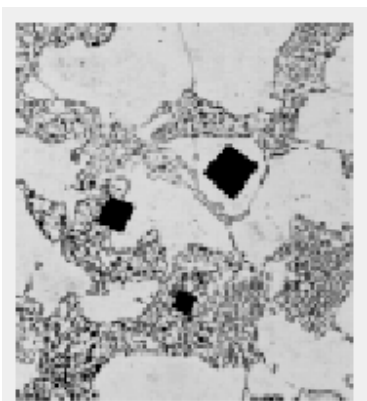


Figura 10- Impressão microscópica após ensaio. Fonte: Guibert – Ensaio de materiais (2000)

A impressão perfeita, no ensaio Vickers, deve apresentar os lados retos, entretanto pode ocorrer defeito de impressão, devido ao afundamento ou à aderência do metal em volta das faces do penetrador. Quando ocorre esse defeito, embora as medidas das diagonais sejam iguais, as áreas de impressão são diferentes, conforme Figura 11.

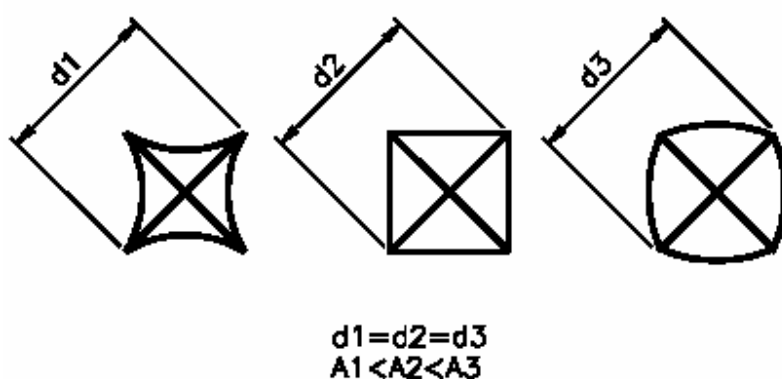


Figura 11 - Tipos de impressões deixadas pela máquina Vickers. Fonte: Guibert – Ensaio de materiais (2000)

Como o cálculo do valor de dureza Vickers utiliza a medida da média de duas diagonais, esses erros afetam o resultado da dureza, assim se tem valor de dureza maior do que o real nos casos de afundamento e um valor de dureza menor do que o real, nos casos de aderência. É possível corrigir esses erros alterando-se o valor da carga do ensaio para mais ou para menos, dependendo do material e do tipo de defeito apresentado.

2.1.3.3 Vantagens e limitações do ensaio Vickers

O ensaio Vickers fornece escala contínua de dureza, medindo todas as gamas de valores de dureza em escala única. As impressões são extremamente pequenas na maioria dos casos, não inutilizam as peças, mesmo as acabadas. O penetrador por ser de diamante, é praticamente indeformável. Este ensaio aplica-se a materiais de qualquer espessura, e pode também ser usado para medir durezas superficiais. Por outro lado, devem-se tomar cuidados especiais para evitar erros de medida ou de aplicação de carga, que alteram muito os valores reais de dureza. A preparação do corpo de prova para microdureza deve ser feita, obrigatoriamente, por metalografia, utilizando-se, de preferência, o polimento eletrolítico, para evitar o encruamento superficial. Quando se usam cargas menores do que 300 kgf, pode haver recuperação elástica, dificultando a medida das diagonais. A máquina de dureza Vickers requer aferição constante, pois qualquer erro na velocidade de aplicação da carga traz grandes diferenças nos valores de dureza. (Guibert et al.,2000)

2.2 Tratamento térmico

As propriedades mecânicas, bem como o desempenho em serviço de um metal e em especial das ligas, dependem da sua composição química, da estrutura cristalina, do histórico de processamento e dos tratamentos térmicos realizados. De forma simplificada, os tratamentos térmicos podem ser descritos por ciclos de aquecimento e resfriamento controlados em material metálico (metal ou liga) que causam modificações na microestrutura do mesmo. Essas modificações têm por consequência alterações nas propriedades mecânicas e no comportamento em serviço. Os fatores que determinam os tipos de tratamentos térmicos são: temperatura, taxas

de aquecimento e resfriamento, tempo de permanência em uma determinada temperatura. A escolha adequada desses elementos está diretamente relacionada com a estrutura das ligas. (Machado 2001)

Segundo Chiaverini (1986) os tratamentos térmicos mais comumente realizados nos aços são o recozimento objetivando a diminuição do encruamento e causando uma diminuição de dureza do material metálico. No caso específico dos aços o recozimento também caracteriza-se por um resfriamento lento (algumas horas, dependendo do tamanho da peça) a partir de uma temperatura onde exista 100% de austenita. Essa temperatura dependerá da composição do aço. O produto dessa reação é a formação de ferrita e de perlita. A normalização caracteriza-se por um resfriamento do aço feito ao ar a partir de uma temperatura onde exista 100% de austenita, essa temperatura dependerá da composição do aço. O produto dessa reação é a formação de ferrita e de perlita. As porcentagens de ferrita e de perlita dependerão da composição do aço. A têmpera, ao contrário do recozimento e da normalização, objetiva a formação de uma fase chamada martensita, que é dura e frágil. Caracteriza-se por um resfriamento rápido a partir de uma temperatura onde exista 100% de austenita, essa temperatura dependerá da composição do aço. A têmpera é habitualmente realizada utilizando água, solução salina ou óleo. Isso dependerá da composição do aço. O revenimento é um tratamento térmico realizado logo após a têmpera, causando alívio de tensões na peça temperada, que tem por consequência uma diminuição de resistência de mecânica e também um aumento na ductilidade e na tenacidade. As temperaturas nas quais são realizados os tratamentos térmicos de revenimento estão sempre abaixo da temperatura crítica (temperatura onde se inicia a formação de austenita). No entanto, existem algumas faixas de temperatura proibidas em função da fragilização de alguns tipos de aços e estão em torno de 300 - 550 °C.

A Figura 12 apresenta o diagrama de equilíbrio Fe – C completo.

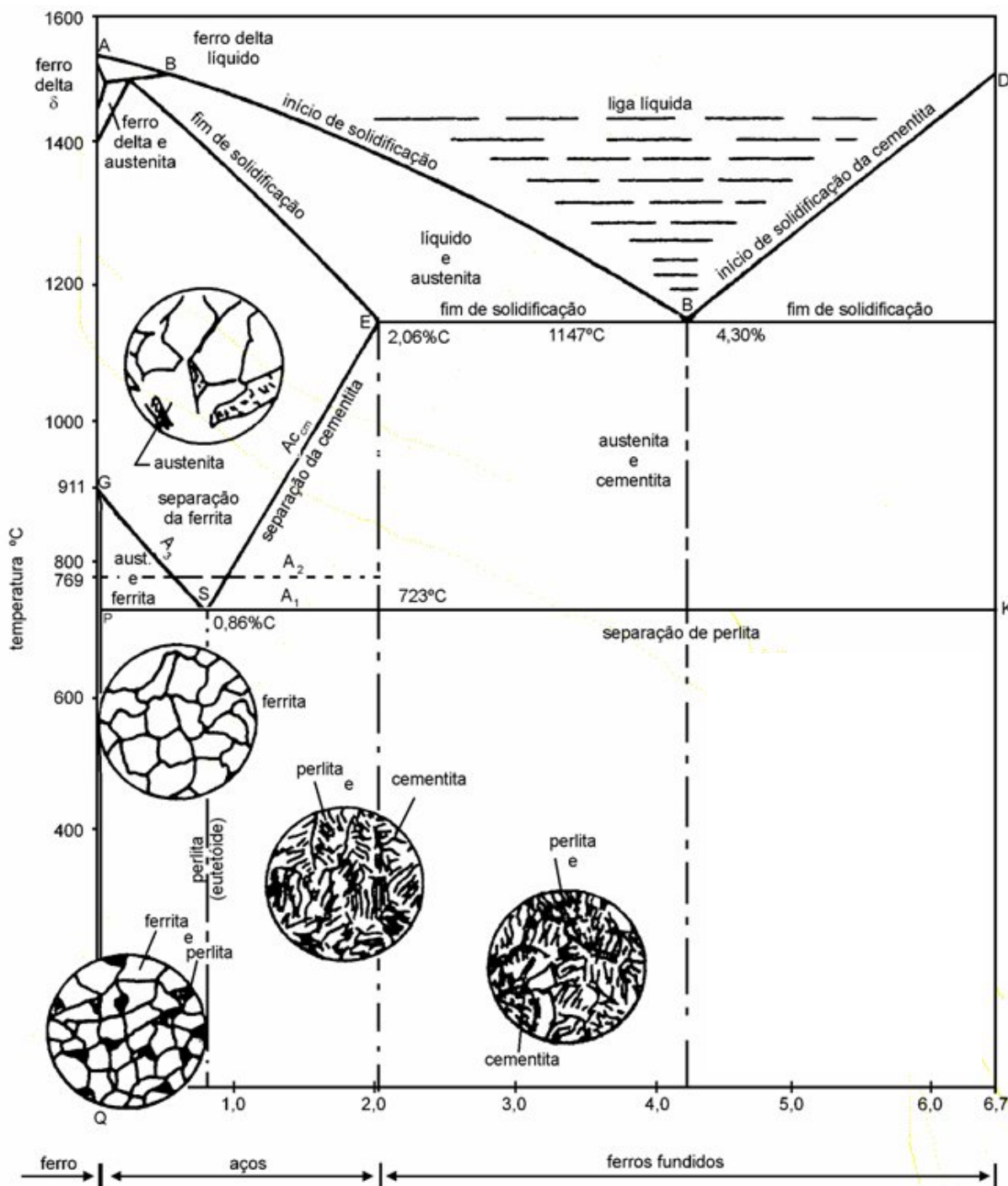


Figura 12 - Diagrama ferro-carbono. Fonte: Tecnologia e ensaios de materiais (SENAI)

Para Della Coletta (1988) as fases do aço variam de acordo com a velocidade de resfriamento, podendo ser ferrita que é o ferro na forma cúbica de corpo centrado, mole e dúctil, cementita tendo o carbeto de ferro em sua composição (Fe_3C), correspondendo a um teor de

carbono de 6,67% e muito dura, perlita que é a composição de ferrita mais cementita e possui um teor médio de carbono de 0,86%, austenita tendo o ferro na forma cúbica de face centrada e teor máximo de carbono de 2%.No resfriamento que segue, parte desta austenita decompõe-se em ferrita e carbetos, no intervalo 300-350°C. Caso o resfriamento seja rápido, esta decomposição pode não ocorrer, e então, a austenita não decomposta transforma-se em martensita.

2.3 Classificação das máquinas de preparo do solo

GADANHA JÚNIOR et al. (1991) relata que o preparo periódico do solo é um conjunto de operações agrícolas de mobilização do solo, realizado antes da implantação da cultura comercial, com o objetivo de torná-lo capaz de receber órgãos de propagação de plantas cultivadas, oferecendo lhes as melhores condições para o desenvolvimento e assegurar aproveitamento máximo do potencial genético. Essas operações também incluem a incorporação de material vegetal de cobertura, fertilizantes e corretivos distribuídos a lanço e preparo da superfície do terreno para receber as operações agrícolas subseqüentes. O preparo periódico do solo engloba as operações de corte e inversão do solo, de desagregação e revolvimento do solo, e de compactação e destorroamento do solo.

Mialhe (1996) elaborou a seguinte chave de classificação das máquinas e implementos agrícolas, levando em consideração a principal operação agrícola executada:

1. Máquinas de preparo primário do solo
 - 1.1. Arados
 - 1.1.1. Aivecas.
 - 1.1.2. Cinzel ou escarificador
 - 1.1.3. Combinação de cinzel com discos cortantes
 - 1.1.4. Lâminas cortantes subsuperficiais
 - 1.1.5. Discos
 - 1.1.6. Canteiradores
 - 1.2. Aivecas sulcadoras
 - 1.3. Discos canteiradores
 - 1.4. Subsoladores
 - 1.5. Grades de discos
 - 1.5.1. Discos em “off-set” ou em “V”
 - 1.5.2. Discos em “tandem” ou em duplo “V” ou, ainda, em “X”
2. Máquinas de preparo secundário do solo
 - 2.1. Grades

- 2.1.1. Discos
- 2.1.2. Molas, dentes, ponteiras, rolo ou hastes
- 2.1.3. Facas
- 2.1.4. Dentes oscilantes acionados pela TDP
- 2.1.5. Rolos Cônicos
- 2.1.6. Camalhonadora
- 2.1.7. Niveladora
- 2.1.8. Rotativa com auto-acionamento
- 2.2. Cultivadores
 - 2.2.1. Mecânicos de hastes
 - 2.2.2. Capinadores de hastes
 - 2.2.3. Rolos
 - 2.2.4. Enxadas rotativas acionadas pela TDP
 - 2.2.5. Canteiradores
 - 2.2.6. Destorradoares dentados rotativos
- 3. Máquinas de cultivo do solo
- 4. Máquinas para operações conjugadas com preparo primário
- 5. Máquinas para operações conjugadas com preparo secundário.

Mialhe (1996) também elaborou a seguinte chave de classificação das máquinas e implementos agrícolas de acordo com o tipo de acoplamento à fonte de potência:

- 1. Máquinas tracionadas:
 - 1.1. Montada em rodas
 - 1.2. Arrastados
 - 1.3. Comboio
- 2. Máquina semi-montada ou de montagem semi-integral
- 3. Máquina montada na traseira (montagem integral no engate de 3 pontos)
- 4. Máquina montada frontal
- 5. Máquina montada central

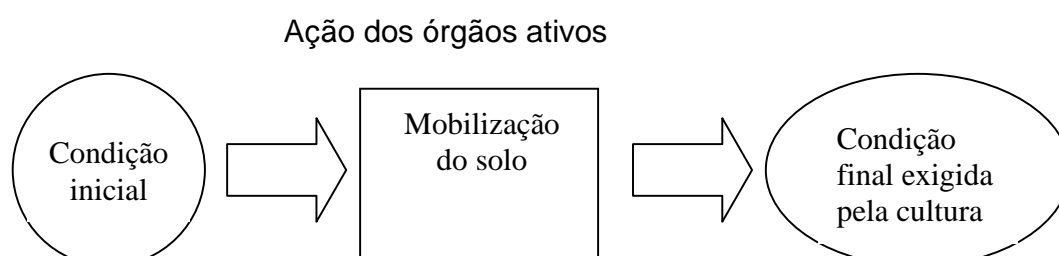
O arado de aivecas é um dos implementos mais antigos utilizados no preparo do solo para instalação de culturas periódicas. A relha tem por função cortar o solo e iniciar o levantamento da secção cortada. Em face disto, a relha sofre a ação abrasiva dos solos e fica sujeita ao desgaste. A escolha dos materiais de construção da relha deve levar em conta a necessidade de substituí-la ou reformar o seu formato após um desgaste tolerável. Os materiais mais comuns de construção da relha são o ferro fundido e o aço. O ferro fundido tem boas características de resistência à abrasão, porém é muito quebradiço para ser utilizado em solos pedregosos, onde podem ocorrer impactos. O aço possui a vantagem de dificultar a adesão do solo à superfície da relha e possui excelente resistência a impactos (BALASTREIRE, 1990).

Segundo GADANHA JÚNIOR et al. (1991) o subsolador, é um implemento que mobiliza o solo em profundidade, rompendo camadas compactadas que dificultam a penetração de raízes e a infiltração de água. Dessa forma, melhora a aeração e a movimentação de água no perfil, diminuindo os riscos de erosão. Alguns subsoladores permitem regulagem no ângulo de inclinação das hastes para otimizar a penetração no solo, podendo ainda estar associados a unidades aplicadoras de fertilizantes ou corretivos. A subsolagem só deve ser realizada quando houver compactação ou adensamento que possam comprometer o desenvolvimento da cultura. Pode ser convertido em subsolador drenador, quando a ele é associado torpedo, cuja função é formar dreno cilíndrico para escoar o excesso de água em áreas agricultáveis.

O escarificador é um implemento cuja função é promover a desagregação do solo, no sentido de baixo para cima, realizando mobilização até a profundidade de 0,35 m na fase de pré-plantio, atingindo profundidade maior que a dos arados de discos. Por isso, promove o rompimento de camadas compactadas oriundas da ação dos arados de discos ou grades, possibilitando maior infiltração de água e mobilização de nutrientes no perfil do solo, de modo que as raízes possam atingir maiores profundidades para resistir melhor à seca e reduz os riscos de ocorrência da erosão por minimizar o escoamento superficial. É semelhante a um subsolador, porém trabalhando em menor profundidade e com espaçamento entre hastes menor (GADANHA JÚNIOR et al., 1991).

2.4 Ação dos órgãos ativos

A ação dos órgãos ativos no solo é uma característica dinâmica resultante da aplicação de forças. Assim, as diferenças entre as características físico-mecânicas das condições inicial e final da camada do terreno atingida pelos órgãos ativos, constitui um critério válido para se expressar o grau de mobilização do solo, conforme Figura 13.



Antes Operação de preparo periódico Após

Figura 13 - Adaptado de Mialhe 1996

A caracterização da condição final do solo, de acordo com COLVIN et al.(1984), quando baseada somente na descrição do sistema de preparo (tipo de equipamento e forma de utilização) é vaga e confusa. Por outro lado Spoor, citado por SOANE & PIDGEON (1975), recomenda que a definição do tipo de preparo do solo a ser adotado, numa dada condição, não deve ser determinada apenas pelo equipamento utilizado, mas sim por parâmetros caracterizadores da condição final desejável para a camada de terreno mobilizada.

2.5 Análise dos trabalhos

Bowditch (1969) analisou desgaste dos escarificadores e identificou outros fatores que contribuem para o desgaste, além da dureza do material. Para teste foram utilizadas dois tipos de escarificadores, sendo o primeiro escarificador composto de 5 fileiras com as ponteiros, tinha o eixo principal com o rodado na frente do escarificador, ao passo que o segundo escarificador, possuía o rodado na parte traseira do conjunto de ponteiros. No referido teste, quando uma ponteira se desgastava, toda a fileira foi trocada e enviada para o laboratório para análise. As ponteiros foram pesadas antes do início dos trabalhos e após o desgaste dos mesmos. Um fator levantado para o desgaste, foi o posicionamento das ponteiros nas respectivas fileiras do escarificador. O trabalho não reportou em detalhes a profundidade trabalhada, condições do solo e tipo de solo onde foram executados os testes. Após análise de regressão linear, ficou evidenciada uma relação muito grande entre a força aplicada no escarificador e a massa perdida na ponteira. Os desgastes das ponteiros do escarificador foram maiores do lado direito do que o lado esquerdo. Para o segundo escarificador os valores quando colocados sobre regressão, não identificaram diferenças plausíveis em relação ao primeiro em alguns aspectos e outros ficaram sem sentido, devido a falta de acurácia das medidas encontradas. Ficou provado pelos testes que os ponteiros exercem forças

diferentes, conforme a localização espacial no escarificador, o que ocasionou um desgaste diferente nas ponteiros. Na conclusão do trabalho, relata uma relação direta entre a força na barra de tração e o desgaste no escarificador.

Silveira (1970) estudou o desgaste de órgãos ativos de cultivador, em 4 tipos de solos. O trabalho foi dividido em três fases no que diz respeito a material e métodos; solo, ponteira do cultivador e ensaios de campo. Os solos utilizados na pesquisa foram: série Taquaral, fazendo parte do grande grupo Lotossolo Roxo, localizado em Campinas, SP. O segundo pertence ao perfil modal da série Sertãozinho fazendo parte do grupo Regossol, localizado dentro da ESALQ. O terceiro (P3) e o quarto (P4) são solos pertencentes a unidade de mapeamento solos podzolizados com cascalho, localizados em Jundiaí. A análise mecânica dos solos resultou nos seguintes valores; Série taquaral – 37,1% limo e 35,7% argila, Série Sertãozinho – 47,7% areia fina e 22,6% argila, Perfil P3 – 44% argila e 17% areia fina, Perfil P4 – 27,8% areia fina e 22,6% argila. Segundo análise mineralógica, os solos apresentam elevados percentuais de quartzo, tendo o mesmo uma dureza de 1560 HV. Os materiais empregados na construção das ponteiros foram o aço ABNT 1070, ABNT 5160, ABNT 1041 e ABNT 5119. Todas as ponteiros foram fabricadas pelo processo de forjamento após serem normalizadas, foram tratadas termicamente através de têmpera, seguido de revenido. Estas peças foram caracterizadas pela dureza Rockwell e após, a fim de melhor comparar os dados de dureza das peças, com aqueles obtidos nos grãos de quartzo, os valores de dureza Rockwell foram convertidos em valores Vickers. A tabela 6 mostra os materiais tratados e suas respectivas durezas.

Tabela - 6 Materiais tratados e suas respectivas durezas

Aço	Nº peças	Têmpera	Revenido	Dureza HRC	Dureza HV
1041	10	840 °C/30	300°C/60	47	471
5119	10	855°C/30	200°C/60	43	423
1070	10	820°C/30	340°C/60	47	471
	7	860°C/30	460°C/30	44	434
5160	16	860°C/30	380°C/60	47	471
	7	860°C/30	355°C/60	50	513
	7	860°C/30	300°C/60	53	560

Fonte: SILVEIRA (1970)

Os ensaios de campo foram divididos em duas etapas: Na primeira, solos pertencentes a séries Taquaral, Sertãozinho e P3, tendo os seguintes materiais; 1041 a 47 HRC, 5119 a 43 HRC, 1070 a 47 HRC, 5160 a 47 HRC. Na segunda, utilizou-se o solo Perfil

P4 com apenas um material, mas com durezas diferentes, sendo; 5160 com dureza de 44, 47, 50 e 53 HRC. Foram trabalhadas 5 horas efetivas e percorrida uma distância de 20,7 km a uma velocidade constante de 4,14 km/h para cada determinação, totalizando 10. As ponteiras, após cada repetição foram retiradas do cultivador, lavadas, secas e pesadas. As taxas de desgaste e os valores de dureza HRC na superfície das ponteiras para os solos Taquaral, Sertãozinho e P3 são apresentados na tabela 7 e para a P4 na tabela 8.

Tabela 7 - Valores médios das taxas de desgaste

Aços	Valores HRC	Valores HV	Série	Série	Perfil
			Taquaral (g/km)	Sertãozinho (g/km)	P3 (g/km)
5160	47	471	0,035	0,66	0,38
1070	47	471	0,069	0,78	0,53
1041	47	471	0,065	0,79	0,76
5119	43	423	0,180	1,10	1,36

Fonte: SILVEIRA (1970)

Tabela 8 - Valores médios das taxas de desgaste Perfil P4

Aço	Valores HRC	Valores HV	Taxa de desgaste g/km
5160	44	434	2,41
	47	471	1,85
	50	513	1,44
	53	560	1,36

Fonte: SILVEIRA (1970)

Analisado os dados, concluiu-se que o solo Perfil P3 produziu maior desgaste que os outros dois. A série Taquaral foi o que produziu menor desgaste, enquanto na série Sertãozinho, obteve-se valores intermediários. O aço ABNT 5160 foi o que sofreu menos desgaste comparado com os outros tipos de aço. Para o aço ABNT 5160, no qual foram feitos vários ensaios com durezas diferentes, a dureza 53 HRC apresentou menos desgaste, mostrando a importância da dureza no processo abrasivo. O aço ABNT 1070, que é utilizado pelos fabricantes nacionais, desgastou mais do que o aço ABNT 5160, mas desgastou menos que os aços ABNT 1041 e ABNT 5119, tornando viável a sua utilização, no que diz respeito ao desgaste.

A análise do custo do material empregado no ensaio, seria uma contribuição para se ter certeza do custo-benefício do mesmo e assim selecionar acertadamente o material a ser utilizado na fabricação da ponteira.

Fielke et al (1993) comparou força e taxa de desgaste em ponteiras de cultivadores estampadas e ponteiras fundidas em três tipos de solos da Austrália. Os cultivadores utilizados no ensaio foram fabricados por empresas diferentes sendo; ponteira estampada fabricada com aço S1070, temperado, dureza de 40 a 44 RC, 5 mm de espessura e massa nominal de 365 g, ponteira fundida fabricada em aço cromo-níquel, dureza de 52 RC, 10 mm de espessura e massa nominal de 760 g. Os solos utilizados nos testes estavam localizados em Keyneton, 80 km nordeste de Adelaide, sendo considerado um solo altamente abrasivo; Northfield, à 10 km de Adelaide, sendo um solo não abrasivo; Orreroo, localizado 250 km ao norte de Adelaide, sendo considerado um solo de não abrasivo para abrasivo. Foram avaliados 5 amostras de cada ponteira, sendo percorridos de 600 à 900 m dependendo do solo utilizado, a uma velocidade de 8 à 12 km/h. Os resultados dos testes em Keyneton em solo úmido reduziram de 30 a 50% a força de tração e de 50 a 70% a taxa de desgaste, comparado com o solo seco. Os testes feitos em solo úmido reduziram a força vertical de 3 a 32%. Como nos resultados mostrados nos testes de Keyneton para força de tração, não houve diferença significativa entre as ponteiras estampadas e prensadas em Northfield.

Em Orreroo os testes foram feitos em dois tipos de solos, sendo um preparado e o outro ainda em estado natural. O solo preparado teve uma taxa de desgaste 73% (estampada) e 55% (fundida) menor do que no solo virgem. Também houve redução na força de tração de 55% e de 50% para força vertical. As conclusões dos trabalhos são de que os resultados dos testes dos dois tipos de cultivadores satisfazem a necessidade do agricultor. A ponteira estampada pode ser bem utilizada em solo não muito abrasivo.

A ponteira fundida, tendo uma espessura maior, tem uma vida útil mais longa, porém precisa de uma força vertical muito maior, o que em alguns tipos de solo, torna-se difícil a sua utilização.

Um ponto importante do trabalho seria transformar essas reduções de força de tração, força de empuxo e taxa de desgaste em uma análise econômica.

Neste trabalho, a velocidade que oscilou entre 8 e 12 km/h não teve valor significativo no desgaste, mas para Moore (1980) e Kushwaha (1996), estas velocidades estão em um ponto crítico e que causam geralmente um desgaste acentuado.

Ferguson et al. (1997), analisou o desgaste da ponteira do cultivador, que é vendida comercialmente, em quatro tipos de solos do sul da Austrália. As ponteiras estampadas utilizadas no ensaio, tem 5 mm de espessura e 150 mm de comprimento, tendo sido fabricada com aço AS 1594, temperado e uma dureza de 40 a 45 HRC. Os testes foram realizados em Spalding, Yongala e Yacka a uma profundidade de 75 mm e Mangalo a 55 mm, ambos a uma velocidade de operação de 12 km/h. As distâncias percorridas variaram de 2 até 8 km, onde as ponteiras a cada processo, foram lavada, pesada e medida. Os testes mostraram que a maior parte do desgaste da ferramenta aconteceu no primeiro terço do percurso. Isto se deve aos fatos dos solos analisados terem muitas pedras e cascalhos ao longo do percurso. A vida útil das ponteiras foram aproximadamente 168 km em Spalding (0% cascalho) – 18% de umidade, 9 km em Mangalo (9% cascalho) tendo 2% umidade, 18 km em Yongala e 40 km em Yacka. Outro teste realizado em Mangalo, mas com 18% de umidade, a vida útil subiu para 38,4 km. Os testes mostraram que o solo úmido, provocou um menor desgaste, mas este também depende do tipo de solo onde está se executando o ensaio. As conclusões relatam que em solo com níveis acima de 10% de cascalho, o mesmo torna o solo altamente abrasivo, sendo em Mangalo, a ponteira durou apenas 9 km (45min). Com relação ao desgaste X umidade, o solo de Mangalo com apenas 2% de umidade, desgastou a ferramenta 4,25 vezes mais rápido de que quando o solo estava com 18% de umidade, comprovando mais uma vez que a umidade interfere no desgaste das ferramentas que trabalhavam na mobilização periódico do solo. O trabalho em solo seco no sul da Austrália causa desgaste muito grande para a ferramenta, conclui o autor.

Nesse trabalho, o objetivo foi verificar se os desgastes causados nas ferramentas analisadas condizem com os dados nominais do fabricante e como sugestão, o autor poderia ter usado um material diferente para fazer um comparativo de desgaste.

Silveira (1974) estudou o desgaste abrasivo provocado por impacto em órgãos ativos de máquinas agrícolas, comparando o comportamento de facas nacionais fabricadas respectivamente com aço ABNT 1070 e 5160 com as originais importadas feitas com material SAE 9260. O equipamento utilizado foi a faca da enxada rotativa, onde a mesma atuou submetida a forte ação de desgaste por impacto. O solo empregado foi de alta abrasividade com 61,7% de areia e 34,3% de argila. As durezas das enxadas foram caracterizadas através da dureza Rockwell e da estrutura metalográfica, resultando os seguintes valores; Aço 1070 – de 37 a 55 HRC, Aço 5160 – de 38 a 55 HRC, Aço 9260 – de 42 a 45 HRC. A largura de trabalho utilizada foi de 125 cm por 7,0 cm de profundidade. Após 37 horas e 30 minutos de trabalho, as facas foram retiradas das flanges, lavadas, secas e pesadas. O trabalho foi executado a uma velocidade de 4,3 km/h. Constataram-se os seguintes desgastes para os materiais ensaiados; Aço 1070 – 6,54%, Aço 5160 – 8,87%, Aço 9260 – 11,02%, sendo o desgaste expresso em relação a porcentagem de perda da massa inicial.

Nas conclusões, Silveira (1974) retrata que embora os aços 1070 e 5160 desgastaram-se menos, apareceram também trincas e quebraram mais que o importado 9260 após o trabalho na enxada rotativa, condenando assim a dureza excessiva do material.

Neste estudo do desgaste abrasivo provocado por impacto em órgãos ativos de máquinas agrícolas, trabalhou com tipos de aços diferentes e também com dureza diferente. Nestas condições, fica muito difícil escolher um determinado tipo de material, em virtude de várias variáveis testadas ao mesmo tempo e que não tenham nenhuma correlação.

Outro fato negativo é a ausência dos custos dos materiais analisados, o que também dificulta a escolha de um determinado material para a utilização nos implementos agrícolas.

Santos (2003) projetou e construiu uma bancada para a verificação do desgaste de órgãos ativos de implementação agrícola submetidos à abrasão em quatro tipos de solos, estudando e permitindo que ensaios fossem feitos em laboratório, diminuindo os custos e gerando dados sobre desgaste dos implementos agrícolas, para posteriormente serem projetados de forma mais racional. O trabalho fez um estudo dos

mecanismos de desgaste utilizados na agricultura ultimamente junto com um breve descritivo sobre preparo periódico do solo. Descreve o mesmo sobre o arado de aivecas que é um dos implementos mais antigos utilizado no preparo do solo, o subsolador, que também é chamado de arado subsolador, onde trabalha na descompactação do solo e por último o escarificador, cuja função é promover a desagregação do solo, no sentido de baixo para cima. É semelhante ao subsolador, mas trabalha a uma profundidade menor. O equipamento apresentado na Figura 14 foi o responsável por gerar o desgaste nos órgãos ativos testados.

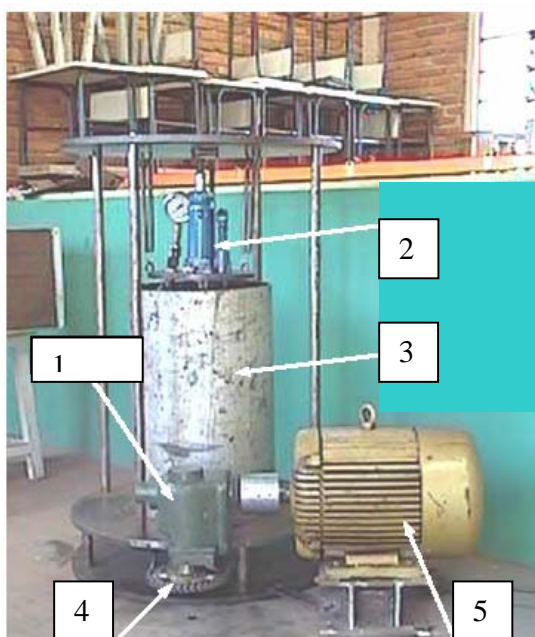


Figura 14 - Máquina geradora de desgaste nos órgãos ativos. 1 – Redutor, 2 – Aplicador de carga, 3 – Tanque, 4 – Relação de transmissão, 5 – Motor. Fonte: BUSSAB - Projeto e construção de bancada para verificação do desgaste dos órgãos ativos de implementos agrícolas submetidos á abrasão em quatro tipos de solos

O autor usa palavras de vários outros autores para descrever sobre o desgaste dos órgãos ativos, sendo citado o desgaste por abrasão sobre baixas tensões, altas tensões e sulcamento. Os implementos testados foram a relha do arado de aiveca, a ponteira da haste do escarificador e a ponteira da haste do subsolador. Os tipos de solos utilizados no ensaio foram; 1-Podzolizado Lins-Marília (82% areia, 15% argila), 2-Terra roxa estruturada (31% areia, 52% argila), 3-Franco arenoso (72% areia, 24% argila), 4-Franco argiloso (52% areia, 45% argila). A tabela 9 mostra o desgaste causado pela máquina no ensaio.

Tabela 9 - Desgaste dos corpos de prova

Solo	Taxa de desgaste (g.km ⁻¹)		
	Subsolador	Aiveca	Escarificador
1	0,00269	0,00236	0,00151
2	0,00065	0,00053	0,00111
3	0,00025	0,00032	0,00039
4	0,00014	0,00015	0,00005

Fonte: BUSSAB (2003)

Os resultados mostraram que os solos 1 e 3 foram os que mais desgastaram os corpos de prova submetidos aos ensaios. Os solos 2 e 4 ocasionaram menores desgastes. A intenção principal foi avaliar o desgaste causado na ferramenta por quatro tipos de solos diferentes. As ferramentas que foram introduzidas na máquina, onde o solo iria causar o desgaste, representavam a relha do arado de aiveca, a ponteira da haste do escarificador e a ponteira da haste do subsolador, sendo que todas tinham o mesmo formato, o que na realidade, o desgaste é muito diferente na hora do trabalho.

Outro ponto negativo é que o tipo de material utilizado para fazer o corpo de prova não foi citado na publicação do trabalho.

A proposta de trabalho foi atingida, onde o teste executado em laboratório permitiu concluir que a porcentagem de areia de um solo é diretamente proporcional a sua taxa de desgaste, e a porcentagem de argila inversamente proporcional.

Owsiak (1999) avaliou o desgaste da ponteira do cultivador em dois tipos de solos distintos no sul da Polônia. As ponteiros utilizadas no ensaio foram fabricadas com aço polido com 0,45% de carbono e com uma dureza de 400 HV; tendo 195 mm de comprimento, 45 mm de largura e 8 mm de espessura. Foram utilizadas 18 ponteiros em cada teste, onde elas foram posicionadas para fora do rodado dos pneus, dentro do rodado e em cima do rodado dos pneus. Os testes foram conduzidos em Silesia, distrito da Polônia durante a primavera em solo arenoso e argiloso. A velocidade de operação foi aproximadamente 6,3 km/h, e a profundidade máxima, em torno de 13 cm. Após um percurso de 300 km observou-se que o solo arenoso causou um desgaste na ferramenta, 40% superior ao mesmo desgaste causado pelo solo argiloso. O autor relata a necessidade de fazer os ensaios com outros tipos de materiais ou outros tipos

de projetos. A Tabela 10 aponta as perdas de material em gramas, após ter percorrido uma distância de 300 km.

Tabela 10 - Perdas de material em gramas

Nº Fileira	Solo Argiloso			Solo Arenoso		
	Dentro do rastro da roda	Fora do rastro da roda	Média	Dentro do rastro da roda	Fora do rastro da roda	Média
1	139	116	128	224	199	212
2	97	102	100	225	171	198
3	76	79	78	215	168	192
Média	104	99		221	179	

Fonte: OWSIAK (1999)

Conclui-se que os desgastes das ponteiras trabalhando entre as rodas do trator foram de 17% a 40 % comparado aos demais. Os desgastes das ponteiras da primeira fileira foram de 26% a 100% e da segunda fileira foi de 10% a 50% maior do que da terceira fileira. As ponteiras desgastaram por volta de 40% a 100% mais no solo arenoso do que no solo argiloso.

O autor avaliou apenas um material nos dois tipos de solos, de modo que na própria literatura o autor relata a necessidade de avaliar diferentes materiais e projetos.

As ponteiras colocadas estrategicamente em três pontos, sendo na lateral da marca do rodado, entre os rodados e em cima das marcas do rodado dos pneus ajudaram a fazer uma análise em cima de uma parte do solo que esta mais compactado, comparado a um menos compactado.

Yuh e Bhole (1990) desenvolveram um protótipo para testar e simular o desgaste de ferramentas sob condições controladas para preparo do solo. A construção do projeto tem em seus principais componentes a bancada metálica feita com em cantoneira de 63 mm x 63 mm, tambor com diâmetro de 915 mm, para armazenar o solo a ser testado, os braços que movimentarão o material para realizar o desgaste e um sistema de transmissão alimentado por um motor elétrico de 7,46 kW. Os testes foram executados a 30 – 60 rpm (3 – 6 km/h) em diferentes tipos de solos, como areia, argila e silte e em duas profundidades, 100 e 150 mm. Os materiais usados para teste

de prova foram aço AISI 1070, AISI 4130, ferro fundido branco com níquel e ferro fundido branco alto cromo. Para cada teste realizado, foi utilizado um par de provas, sendo sempre utilizado em um dos braços, o AISI 1018 como referência para o desgaste, durante um período de até 4 horas. Os resultados mostraram que o desgaste foi maior na profundidade de 150 mm em relação à de 100 mm. O aumento da umidade incrementou em uma elevada perda de massa por desgaste. O ferro fundido alto cromo obteve um melhor desempenho em relação ao aço AISI 1070, que é material usado comumente na indústria agrícola.

Concluiu-se que os ferros fundidos são mais resistentes do que o aço AISI 1070, para serem utilizados nas ferramentas de mobilização do solo.

Faltou ao autor apenas uma análise de custo do material, para ver qual material seria mais vantajoso utilizar entre os aços destacados no trabalho ou os ferros fundidos analisados.

Quinke et al. (1988) estudou abrasão de vários tipos de aços em laboratórios e sob as terras de Western Cape, no Sul da África. Para determinar a experiência, foram utilizados quatro tipos de materiais: S10/24 com 0,96% C e 0,28% Cr, SS10/200 com 0,48% C e 0,16% Cr, C8 com 0,34% C e 0,14% Cr, AISI 304 com 0,035% C e 18,8% Cr. Para os testes de campo, os materiais em forma de barra chata foram alocados em uma longarina montada atrás do terceiro ponto do trator, num total de seis barras. A profundidade de trabalho foi de 5 a 6 cm aproximadamente. À distância percorrida variava de 1 a 4 km, sendo que a cada etapa, as barras foram lavadas, secas e pesadas. O solo onde foi realizado o teste caracterizava-se por ser uma área limitada de Western Cape com as seguintes características: umidade 3%, cascalho acima 4 mm - 40%, cascalho entre 1 e 4 mm - 13%, partículas abaixo de 1 mm - 38% e argila 6%. Simultaneamente com o teste de campo, os mesmos materiais foram avaliados em um teste de resistência no laboratório. Dois diferentes testes de abrasão foram executados. O primeiro teste consistiu em colocar grão de alumina com tamanho de 320 μm a uma pressão de 789.8 kPa contra a parede do material a ser testado e a uma velocidade de 325 mm/s. O segundo teste foi similar, variado apenas a partícula de alumina (640 μm) e a pressão de 1421 kPa. Em termos de desgaste, o aço SS10/200 temperado teve resistência 50% maior do que o aço sem têmpera. O aço SS10/24

temperado teve resistência 183% maior que o aço SS10/24 sem têmpera. A resistência de desgaste abrasiva dos aços tem sido dependente da composição e estrutura. Segundo o autor houve correlação entre os testes de campo e laboratório. As temperaturas locais da superfície durante o preparo do solo podem atingir 250 °C, podendo afetar taxas de desgaste dos materiais.

Não houve nenhuma menção de custo do material para poder-se comparar o custo benefício de cada material analisado.

Silveira (1969) estudou o comportamento dos órgãos ativos de um subsolador, submetidos a duas modalidades de tratamento térmico em relação ao desgaste por abrasão. O trabalho é dividido em três fases, no que tange material e métodos; solo, ponteira do subsolador e ensaios de campo. Os solos utilizados foram do grupo Regassol, dentro da Esalq, que na época do ensaio apresentava-se recoberto com restos de cultura de milho e pequena quantidade de cipó e mostrando em sua análise mecânica, uma porcentual maior de areia fina (47,7 %) e argila (15,6%). O segundo pertence ao Latossol Vermelho Amarelo-Orto, localizado em Jundiaí, que época do ensaio, apresentava-se recoberto com capim gordura, beldroega e picão. Mostrou em sua análise mecânica um porcentual maior de argila (34,3%) e areia média (21,1%). O material utilizado para fabricação da ponteira do subsolador, também chamado de “arado pé-de-pato” foi o aço ABNT1060 com 0,71% de manganês. Foram utilizadas quatro ponteiras para fazer os ensaios, sendo de 1 a 4, recebendo os seguintes tratamentos térmicos; Ponteira 1 e 3-têmpera e revenido, Ponteira 2 e 4-normalização. As ponteiras temperadas foram submetidas a uma têmpera de 860 °C por 30 minutos e posteriormente resfriados em água. O revenimento se deu a temperatura de 300 °C durante 60 minutos e depois resfriado em água. As ponteiras normalizadas foram submetidas a temperatura de 860 °C por 30 minutos e após, foram resfriados ao ar livre. A fim de comparar as escalas Rc e Rb, os resultados obtidos na escala Rockwell, foram convertidos para dureza Vickers. A ponteira temperada obteve uma dureza de 410 HV, enquanto que a normalizada ficou em 230 HV. Para os ensaios de campo, foi utilizado 6,1 ha na série sertãozinho e 7,5 ha, no Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Os ensaios das ponteiras 1 e 2 foram realizados na série sertãozinho e os ponteiras 3 e 4 no Latossol Vermelho Amarelo-Orto. Ambos os ensaios foram executados com 6

repetições, onde a cada repetição, os órgãos ativos foram retirados da coluna do subsolador, lavados, secos e pesados. Após cada pesagem, as ponteiros foram trocados de uma coluna para outra para evitar o efeito de posição no desgaste das ponteiros. Foi realizada uma análise de dureza ao longo da ponteira do subsolador e chegou-se a conclusão que as ponteiros submetidas ao mesmo tratamento térmico são iguais quanto a dureza, validando os ensaios realizados em solos diferentes. Os desgastes das ponteiros no ensaio de campo são mostrados na tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Desgastes das ponteiros nos ensaios de campo

Nº da ponteira	Solo	Taxa de desgaste (g.km ⁻¹)
1	Série Sertãozinho	2,34
2	Série Sertãozinho	3,43
3	Latossol Vermelho Amarelo Orto	4,99
4	Latossol Vermelho Amarelo Orto	6,46

Fonte: SILVEIRA (1969)

Observa-se que a ponteira 2 desgastou-se 1,46 vezes mais que o ponteira 1. Por outro lado, as taxas de desgaste indicam que o ponteira 4 apresentou um desgaste de 1,29 vezes maior que o ponteira 3. O Latossol Vermelho Amarelo-Orto produziu maior desgaste, tanto nos ponteiros normalizado como nos temperados, quando comparado com a série sertãozinho. O desgaste apresenta proporcionalidade linear positiva em relação ao espaço percorrido e negativa em relação a unidade. A microestrutura martensita foi mais resistente á abrasão do que a perlita e ferrita. No solo com maior quantidade de quartzo, o desgaste das ponteiros foi mais acentuado.

O autor levanta uma hipótese sobre tratamento térmico onde relata que a têmpera, seguida de revenimento poderá aumentar a resistência ao desgaste, devido as modificações na microestrutura dos aços. No trabalho, não se efetuou medições de dureza após a têmpera e sim depois da peça revenida. Não tem-se garantia que a dureza aumentou no material que foi ensaiado.

Scheffler (1988) estudou a abrasão do aço em vários tipos de solo e também fez um julgamento de valor sobre as propriedades e estruturas dos materiais necessários para se obter sucesso na escolha do material adequado. Para a experiência foram utilizados dois tipos de materiais, um aço SS10/83 com 0,71% de carbono, no qual foi submetido à têmpera, obtendo em sua estrutura a martensita, e um aço SS10/200 com

0,48% de carbono, no qual foi apenas normalizado. Os materiais estavam em formato de barra chata e foram presos em uma longarina montada atrás do terceiro ponto do trator, num total de 9 barras. A profundidade de penetração no solo foi de 5 a 8 cm aproximadamente. Foram executados num total de cinco etapas, sendo percorrida em cada uma, a distância de 1 km a uma velocidade de 7 km/h. A cada etapa, as barras foram lavadas, secas e pesadas. Todos os testes foram executados em três tipos de solos; argiloso, arenoso e cascalhado, na região de Western Capem. As taxas de desgaste médias demonstraram que o solo cascalhado desgastou sete vezes mais que o solo argiloso e quase vinte vezes mais do que o solo arenoso. O motivo para o desgaste alto do solo cascalhado, foi à alta dureza das rochas encontradas (quartzo), na faixa de 700 a 1200 HV, muito mais duro do que a dureza do aço utilizado no ensaio.

Embora a parte principal do teste foi analisar o desgaste das ferramentas nas condições do solo de Western Cape, os tratamentos dados aos tipos de aços analisados, num total de nove amostras, conseguiu fazer com que a dureza variasse de 152 HV até 557 HV. Vale lembrar também que a dureza do solo onde foram executados os testes estava na faixa de 700-1200 HV.

Salokhe et al. (1990), avaliou a relação de desgaste de roldanas entre materiais com e sem revestimento. Para o trabalho, foi desenvolvido uma máquina composta de um tambor cilíndrico com 4 m de diâmetro externo e 0,6 m de altura e uma parte central vazada de 2 m de diâmetro interno, Neste centro foi colocado um motor com 4 kw de potencia e com sistemas de engrenagem, no qual deslocava três hastes. Nestas hastes foram presas as roldanas que giravam em circulo em cima do material que iria causar o desgaste, com uma velocidade de 15 rpm. As roldanas tinham 0,3 m de diâmetro, 0,076 m de largura e 0,010 m de espessura em sua parede. Nos ensaios foram utilizadas nove roldanas com revestimento e nove sem revestimento, sendo utilizada três de cada tipo em cada ensaio. O primeiro ensaio foi realizado por 120 horas em solo arenoso, com umidade de 0,4%. A cada 4 horas, os materiais foram limpos e pesados. No segundo ensaio, ao invés da terra, foram utilizadas lixas nº 100 e 120, onde foram fixados sobre madeira, no qual as roldanas deslizaram posteriormente. Os testes realizados em solo arenoso mostraram que nas primeiras 30 horas a roldana sem revestimento, desgastou mais. Após este tempo de desgaste, a roldana revestida

começou a gastar mais rapidamente, inclusive passando a não revestida, em termos de desgaste. Após 120 horas de teste, ambas se mantiveram com desgaste constante. Nos testes realizados em cima da lixa, os desgastes se mantiveram constante até o período de 2 horas, onde a roldana com revestimento passou a desgastar mais. Concluiu-se que as taxas de desgaste das roldanas revestidas foram maiores do que as sem revestimento em solo arenoso e na lixa.

O uso dos revestimentos esmaltados na agricultura para reduzir forças, tem propriedade aceitável para desgaste, portando sendo visto com futuro promissor. A finalidade de se esmaltar os anéis é para diminuir a força de tração executada pelo trator. O autor argumentou que em referidos aspectos o anel esmaltado gastou mais rapidamente do que o anel sem esmalte.

Outro ponto importante foi o fato de não estar relacionado o custo para se esmaltar os anéis. Também não foi criada uma relação custo - benefício entre o anel esmaltado e a força de tração.

Owsiak (1997) determinou a resistência ao desgaste de tipos de aços selecionados, a distribuição do desgastes nas partes das plantadoras e um modelo matemático para o desgaste das ferramentas em forma de cunha simétrica. No trabalho o autor utiliza as peças para teste em formato retangular pesando aproximadamente 70 gramas. A distância percorrida foi de 250 m e os materiais utilizados para o ensaio foram; Aço 50S2 temperado a 840 °C, Aço 65G temperado a 830 °C, Aço 65 G normalizado, Aço ST 25. Para tanto os testes foram feitos em laboratório com dois tipos de solos (arenoso e argiloso), sendo um compactado e outro preparado, duas profundidades (5 e 10 cm) e após foram realizados ensaios no campo. Para os ensaios executados em laboratórios obtiveram-se os seguintes resultados; o desgaste do aço no solo arenoso foi 23% maior que o argiloso, o desgaste do aço no solo compactado foi 124% maior do que o solo preparado, o desgaste do aço a 10 cm de profundidade foi de 84% maior do que o de 5 cm, o desgaste do aço 65G temperado em relação ao ST2S, 65G normalizado e o 50S2 foram 2,24 , 1,53, e 1,17 vezes menos respectivamente. Para os ensaios executados no campo, obtiveram-se os seguintes resultados; o desgaste das partes que trabalharam no solo arenoso foi 37% maior do que no solo argiloso, o desgaste no solo compactado foi 31% maior do que no solo

preparado, o desgaste do aço 65G temperado em relação ao ST2S, 65G normalizado e 50S2 foram 2,38,1,42,e1,15 vezes menos, respectivamente. Após a redação final do trabalho, conclui-se que o modelo matemático apresentado descreve muito bem os desgastes das ferramentas em formas de cunha simétrica. A resistência de desgaste do aço aumenta aparentemente junto com a diminuição do tamanho da partícula de carbono.

O desgaste da espessura pode ser descrito como uma linha reta em função da distância percorrida, e o desgaste da borda de corte em função da força executada.

Para que o trabalho se tornasse mais completo o ideal seria fazer uma análise de custo de materiais ensaiados, bem como o custo do referido tratamento térmico. Com base nestes itens, conheceríamos o valor correto de cada material e o seu custo-benefício, viabilizando ou não a utilização do material.

Moore (1980) trabalhou o efeito da velocidade sobre o desgaste do aço no solo abrasivo, com velocidade que variou de 0,25 a 7 m/s executados no campo e em laboratório. Os testes de laboratório foram feitos em uma máquina de teste de abrasão com 250 mm de diâmetro e 8 m de comprimento onde foi aplicada pressão de 0,97 N/m². Foram utilizadas três amostras de 2,5 mm de diâmetro nas velocidades de 0,25; 0,5; 1,5; e 5 m/s e 2 tamanhos de abrasivos, 357 µm e 93 µm. O cobre e o aço foram apenas normalizados, enquanto que o aço médio e alto carbono foram temperados. Os materiais testados foram o cobre, o aço-doce com 10% de C, aço médio carbono com 0,37% C e o alto carbono com 0,78% C.

Concluiu-se que para os testes realizados em laboratório, o desgaste aumentou em até 90% com a variação da velocidade de 0,25 para 5 m/s. O aumento do desgaste do aço foi atribuído ao stress mecânico e a propriedade do material. O cobre não teve desgaste significativo com a mudança de velocidade.

Nos testes realizados em campo foi utilizada uma ponteira de escarificador com 75 mm de comprimento, 30 mm de largura e 5 mm de espessura. A profundidade de trabalho foi de 150 mm a um ângulo de 45°. Os solos utilizados foram do tipo argiloso em Greenfield e arenoso em Wrest Park, com 200m de comprimento. A velocidade de trabalho variou de 0,25 até 7 m/s, em um total de dez velocidades selecionadas. Para os testes realizados em campo, o desgaste aumentou em até 180% com variação de

velocidade de 0,25 para 7 m/s em ambos os tipos de solos. Os comportamentos indicaram que com o aumento da velocidade, os custos para preparo do solo e a taxa de desgaste das ferramentas, também aumentaram.

Para um trabalho mais completo deveria haver também a relação do desgaste x velocidade x rendimento do trabalho. Se utilizar no trabalho uma velocidade bem baixa, o desgaste da ferramenta será menor, porém o rendimento do serviço será menor, ocasionando um consumo maior de insumos e equipamentos. Por outro lado, com uma velocidade maior, ocasionará um maior desgaste da ferramenta, porém com um rendimento maior de trabalho. Esta análise deveria ser feita para chegar a uma velocidade que causasse menor desgaste com maior rendimento possível

Moore (1975) estabeleceu um comparativo de desgaste de material com superfície revestida entre o laboratório e os testes executados em campo. Ao todo foram ensaiados 11 tipos de materiais sendo: composto de tungstênio e carbono (índice 1), ferro austenítico (índice 2), ferro martensítico (índice 3), aço austenítico (índice 4), aço martensítico (índice 5), aço base níquel (índice 6), aço base cobalto (índice 7), cerâmica e cermete (índice 8), miscelânea (índice 9), superfície difusa (índice 10) e técnica de deposição (índice 11), com varias combinações de composição química, num total de 34 tipos de materiais com características diferentes. Os testes em campo foram realizados a uma velocidade de 7 km/h, percorrendo 200 m a uma profundidade de 200 mm. A cada 50 m, a peça prova foi girada em 90° para garantir a uniformidade do desgaste. O solo onde foram feito os testes tinham uma quantidade grande de cascalho, embora sua característica principal é a de um solo argiloso. Nos testes executados no laboratório, foi utilizada uma máquina com disco giratório a uma velocidade tangencial de 34 rpm. A velocidade de desbaste linear variou de 180 a 400 mm/s. As lixas utilizadas no ensaio foram de nº180 e 40. O material ensaiado tinha 2,54 mm de diâmetro, onde foram executados três testes com 5,25 m cada teste. A comparação dos testes realizadas no campo e no laboratório é mostrada na tabela 12.

Tabela 12 – Comparação dos testes de campo x laboratório

Índice	Resistência Relativa ao Desgaste
---------------	---

Material	Campo	Grão 180	Grão 40
1.1	3.47	27.6	2.82
1.2	5.59	27.6	3.84
1.3	1.06	162	9.23
2.1	4.24	11.8	1.70
3.1	2.33	3.48	1.35
3.2	2.83	36.8	4.19
3.3	2.29	10.3	2.38
4.2	0.832	1.17	0.994
4.3	0.536	0.821	0.783
4.4	0.986	1.28	1.12
5.3	1.02	1.41	1.13
5.4	1.69	1.27	1.35
5.5	1.51	1.51	1.57
6.1	1.85	2.85	0.969
6.2	3.13	8.49	1.17
7.1	2.08	15.0	1.29
7.2	7.09	20.7	2.40
8.1		0.611	0.231
8.3	0.540	0.697	0.481
9.1		221	33.3
9.2	1.93	1.23	1.08
9.3	0.918	1.01	0.971
9.4	0.709	11.4	2.35
10.1	1.53	1.65	1.39
10.2	1.93	3.01	1.66
10.3	0.563	32.4	10.3
11.1	2.25	10.0	1.25
11.2	1.60	1.72	1.14
11.3	1.76	1.53	0.967

Fonte: Moore (1975)

Em relação aos testes executados no laboratório e no campo, tem que se levar em conta que os papéis abrasivos (lixas) não reproduzem exatamente as condições encontradas no solo, em função dos impactos e contatos com as pedras. A resistência ao desgaste abrasivo das superfícies com revestimento pode ser afetada pela técnica de deposição do material em determinados tipos de estrutura do material. O aço

austenítico e martensítico vem a ser uma sugestão viável para o uso em equipamentos, que vão trabalhar no solo, levando-se em conta a técnica de deposição e a composição do revestimento, para que não afetem a estrutura do material.

O potencial para uso do revestimento é grande devendo ser analisadas a textura do solo, tipo e quantidade de pedras no terreno.

Faltou ao autor colocar o custo dos materiais analisados, e assim poder ajudar na escolha de materiais mais indicados para o trabalho com o solo.

Foley (1988) avaliou as pontas de alumina cerâmica em 2 projetos de hastes, observando o desgaste em subsoladores agrícolas. No primeiro, as seis peças de alumina com 3 mm de espessura que compunham a haste, tinham 75 mm de comprimento e foram afixadas com adesivo epóxi. Para o segundo projeto, as peças de alumina tinham aproximadamente 50 mm, com a diferença de também ter colocado a proteção de alumina na parte lateral da haste do subsolador. A experiência em campo com o subsolador do projeto um, foi executado à uma profundidade de 450 mm, a uma velocidade de 5,4 km/h, sendo percorrido uma distância de 188 km. Para o projeto 2, o subsolador tinha três hastes, sendo apenas duas foram colocada a alumina. A profundidade de trabalho foi de 450 mm, a velocidade de 9 km/h, percorrendo uma distância de 1855 km. Os tipos de alumina cerâmica convencional têm sido usados com sucesso para reduzir os desgastes dos componentes utilizados no solo. O custo da alumina é maior em relação ao aço, mas compensou na hora de desgaste quando se tem que trocar as hastes do subsolador. Os adesivos a base de epóxi suportaram a carga de impacto. Devido à presença de pedras houve alto nível de impacto causando danos a alumina.

Concluiu-se que a média de desgaste no subsolador com alumina foi menor de 4 a 10 vezes em relação ao aço utilizado no subsolador. Outra alternativa seria usar o carbetto de tungstênio ou compostos de cobalto para proteger as borda cortantes das hastes do subsolador.

Faltou no trabalho apenas relatar o preço da alumina cerâmica para se ter a idéia do custo total da operação e a partir desta etapa, viabilizar ou não o uso com relação ao custo - benefício do material.

Browen e Baker (1985) determinou o desgaste das lâminas laterais e monitorou a taxa de desgaste da lâmina tratada termicamente na perfuração normal em campo. Os testes foram realizados em Manawatu, distrito da Nova Zelândia, em um solo barrento e arenoso. No experimento 1 foram utilizados três lâminas sem tratamento térmico e três lâminas com tratamento térmico, no qual foi depositada uma solda com eletrodo duro no perfil da lâmina. A distância percorrida foi de 190 km, sendo cada 10 km percorrido, a lâmina foi retirada e pesada, para verificar o desgaste. O segundo experimento foi dividido em dois grupos, A e B, sendo cada grupo foram trabalhadas 6 lâminas. Para o grupo A as lâminas foram preenchidas com solda em seu perfil, com eletrodo de carbonitrato. Para o grupo B as lâminas foram preenchidas com eletrodo de cromo duro em seu perfil. Todos os dados do desgaste foram colocados no computador para análise estatística. Os resultados mostraram que no experimento a lâmina do lado esquerdo desgastou em média 31,6% menos do que do lado direito. Os resultados para o experimento 2 mostrou que as lâminas preenchidas com carbonitrato e cromo duro, tiveram um desgaste bem menor em relação ao grupo A e também em relação ao experimento 1. O tratamento com solda tem se mostrado mais resistente do que o aço comum das lâminas. Houve fraca correlação entre os revestimentos duros e o desgaste, devido a diferença entre as microestruturas dos materiais.

Concluiu-se que o desgaste da lâmina com carbonitrato desgastou 2,7 vezes menos do que com aço normal, a um custo de 1,7 vezes mais caro.

Este é um fator preponderante em um trabalho, que poderá ser utilizado no futuro por agricultores, fazendeiros e até outros profissionais da área, visto que se tem uma real conclusão do custo-benefício do material utilizado.

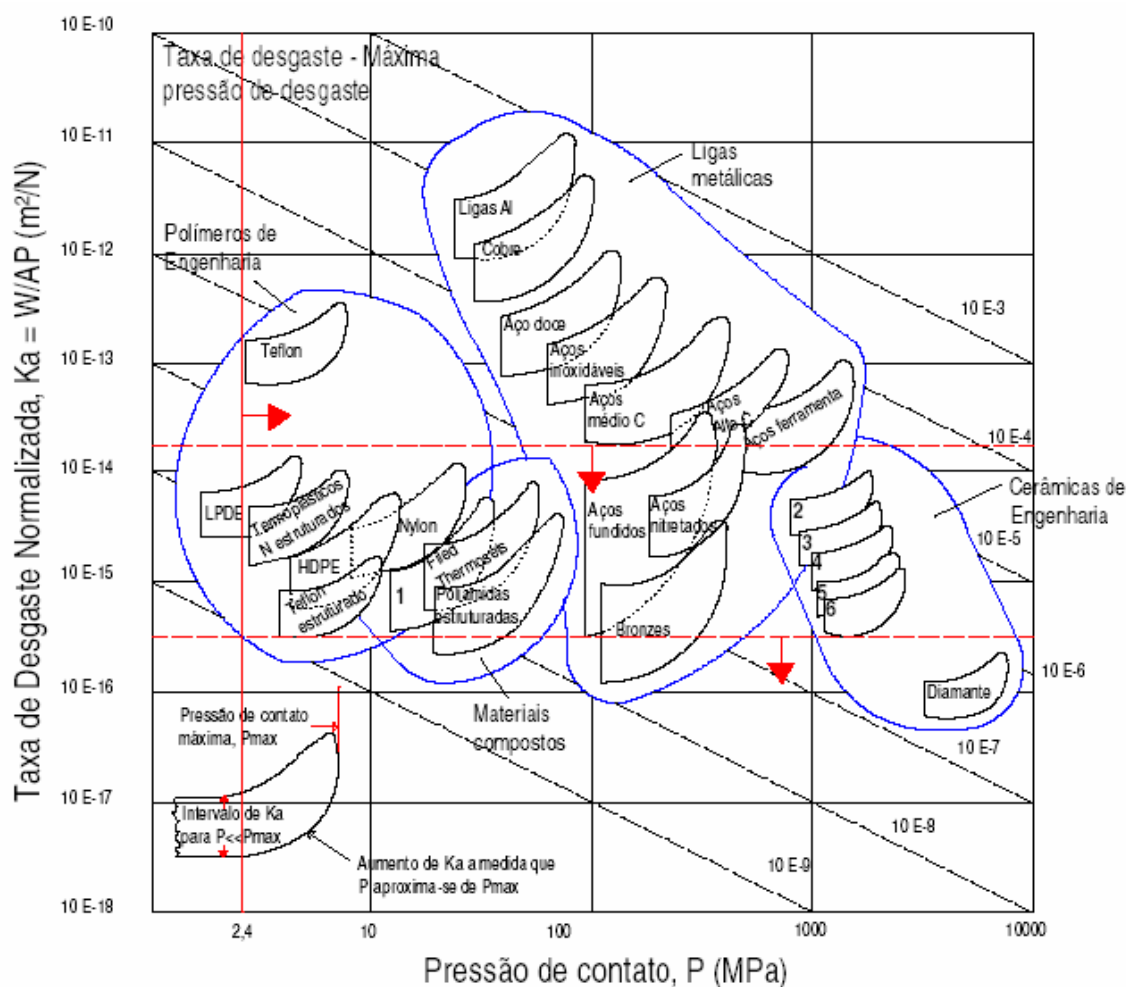
Reis e Forcellini (2002) aplicaram o método do índice de desempenho na seleção de materiais para ponteiros de escarificador com auxílio das Cartas de Seleção de Materiais proposta por ASHBY (1992). As ponteiros de escarificadores, assim como toda ferramenta que interagem com o solo, estão sujeitas ao desgaste pela abrasão. Esse fenômeno produz um aumento do custo operacional aos agricultores. O processo de seleção de materiais para os órgãos ativos é complexo, pois o solo é variável e a quantidade de materiais disponíveis é grande. Na análise dos requisitos de seleção de materiais, buscou fixar o valor de alguns atributos de interesse quando se considera as

Cartas de Seleção de Materiais, sendo área de contato do solo com a ferramenta, pressão de contato entre a ferramenta e o solo, distância percorrida. Segundo (ASHBY, 1992) citado por Reis e Forcellini (2002), o desgaste é um fenômeno difícil de quantificar, pois além de referir-se à superfície do material e não a sua massa envolve interações entre dois materiais e não propriedade de apenas um. Segundo a seleção de materiais candidatos a ponteira do escarificador, destacaram-se o aço alto carbono, aço fundido, aço nitretado, nylon e poliamidas estruturadas. O aço alto carbono já é bastante utilizado, tais como o ABNT1080 e ABNT1095. Outra opção viável é o aço nitretado devido a sua alta dureza superficial. O aço fundido tem pouca aplicação devido a sua fragilidade e o nylon embora resistente ao desgaste, não tem rigidez suficiente para operação. As conclusões do trabalho relatam que deve se tomar cuidado na escolha do material a ser usado, quando se trabalha com e Carta de Seleção de Materiais 16 (ASHBY, 1992). Materiais resultantes da triagem já estão sendo utilizados na fabricação de ponteiras e outros têm um bom potencial de utilização.

A utilização da Carta 16 de ASHBY proposta por Reis e Forcellini (2002) é interessante para ser usada, desde que se escolha um material pré-existente dentro do quadro de abrangência dos materiais. Muitos estudos hoje envolvem o uso de materiais ligados, Foley (1988) Yu e Bhole (1990) entre outros, com diversas composições químicas prováveis, melhorando ainda mais a resistência ao desgaste do material.

Gill & Van der Berg (1968), cita que a dureza do aço não se correlaciona bem com a resistência ao desgaste. Relata também que o aumento do teor de carbono ou elemento de liga é o mais efetivo que o aumento da dureza no aço. Neste trabalho, o critério de desempenho é o da máxima vida ou mínimo desgaste. Esse conjunto de ações é conhecido como método do índice de desempenho.

A Figura 15 mostra a Carta de Seleção de Materiais 16.



1. Termoplásticos estruturados; 2. Metal duro; 3. Al_2O_3 ; 4. Si_3N_4 ; 5. SiC; 6. Sialons³

Figura 15 – Carta 16 – Taxa de desgaste x pressão de contato. Fonte: REIS - Seleção de materiais para ponteira de escarificadores

Silveira (1973) trabalhou com o desgaste em cultivadores (estudos preliminares sobre desgaste provocado por abrasão) visando, verificar o comportamento do material empregado por diversos fabricantes de ponteiros de cultivadores, frente ao desgaste por abrasão em solo de área reflorestada. Para o autor, o cultivo é uma das operações agrícolas que mais consomem tempo e trabalho, por isso merece um estudo mais detalhado. O trabalho caracteriza para o ensaio em campo, o mesmo teor de carbono, mas com microestrutura diferente. O material submetido ao ensaio é caracterizado por ser um aço ABNT 1070 com dureza variando de 23 a 27 HRC tendo perlita na microestrutura. O outro material foi o aço ABNT 1070 com dureza variando 31 a 35 HRC e estrutura formada por martensita revenida. Os ensaios foram realizados em uma área

reflorestada de pinheiro na cidade de Jundiaí-SP. As ponteiras foram divididas em categorias: A-ABNT 1070 / 23-27 HRC e B-ABNT 1070/31-35 HRC. Para o grupo A realizou-se o trabalho durante 5 horas a uma velocidade de 4,5 km/h com 14% de umidade média. Para o grupo B, utilizaram-se as mesmas condições, porém com apenas 8% de umidade de solo. Após os ensaios, verificou-se um desgaste de 1,30 gf/km para o grupo A e 1,83 gf/km para o grupo B.

Houve um maior desgaste da ferramenta no solo que detinha um menor índice de umidade. Concluiu-se também que o fator umidade deve ser considerado em trabalhos futuros.

Silveira (1973) embora tenha trabalhado com mesmo tipo de material, foi empregado durezas diferentes para serem ensaiados em solos com umidades diferentes. Para um trabalho como este, deveria padronizar a dureza e o material e variar somente a umidade do solo, ou variar a dureza e manter a umidade constante do solo e assim verificar realmente qual o material se saiu melhor na pesquisa.

Santos (2002) propôs estudar a permitir que ensaios possam ser feitos em laboratório, diminuindo custo e gerando dados sobre o desgaste dos implementos agrícolas, para posteriormente serem projetados de forma mais racional. O trabalho consistiu em avaliar o desgaste dos órgãos ativos de três implementos; subsolador, aiveca e escarificador, utilizando como a base o desgaste dado em porcentagem. Para tanto foi utilizado na trabalho, quatro tipos de solos distintos sendo; 1-Podzolizado Lins-Marília (82% areia, 15% argila), 2-Terra roxa estruturada (31% areia, 52% argila), 3-Franco arenoso (72% areia, 24% argila), 4-Franco argiloso (52% areia, 45% argila). Os solos foram acondicionados em um recipiente cilíndrico com tampa e um eixo árvore acionado por motor elétrico. As ferramentas foram dispostas em duas seções distintas no porta ferramenta, três ferramentas na 1ª e nove na 2ª seção e a 120º de forma helicoidal. Os resultados mostraram que os solos 1 e 3 foram os que mais desgastaram os corpos de prova submetidos aos ensaios e os solos 2 e 4 ocasionaram menores desgastes. O Subsolador teve desgaste médio enquanto que a Aiveca sofreu o menor desgaste dos implementos analisados.

Conclui-se que a porcentagem de areia é diretamente proporcional a sua taxa de desgaste e que a argila é inversamente proporcional a mesma. O corpo de prova do produto do escarificador foi o que apresentou o maior desgaste.

As ferramentas que foram introduzidas na máquina, onde o solo iria causar o desgaste, representavam a relha do arado de aiveca, a ponteira da haste do escarificador e a ponteira da haste do subsolador, sendo que todas tinham o mesmo formato, o que na realidade, o desgaste é muito diferente na hora do trabalho.

Outro ponto negativo é que o tipo de material utilizado para fazer o corpo de prova não foi citado na publicação do trabalho.

Natsis (1998) identificou o consumo de energia e consumo de combustível para um arado sob a influência do tipo de solo e umidade. O trabalho foi dividido em três partes, a primeira foi realizada na cidade de Albânia, onde foram utilizados três tipos de solos; arenoso, argiloso, e com material em decomposição. Os testes foram realizados para determinar a força exercida pela lâmina do arado. Foi utilizado um trator de 60 kW a uma velocidade de 3,6 km/h e uma profundidade de trabalho variando de 26 a 30 cm. A segunda parte visou identificar a força exercida no dinamômetro, consumo de combustível e rendimento do implemento com a lâmina de arado variando de 1 mm até 6 mm de espessura. A última parte do experimento foi conduzida para determinar influência de espessura da borda cortante da lâmina do arado, na profundidade do preparo e no processo da cobertura de resíduos. Neste teste também foi utilizado seis tipos de lâminas variando a sua borda cortante de 1 até 6 mm. Os resultados mostraram que no solo úmido, o desgaste no solo argiloso e com material em decomposição, o desgaste diminuiu, mas no solo arenoso, o desgaste aumentou. Quando a ponta da borda cortante da lâmina aproximou-se de 1 mm de espessura, o índice de granulação do solo, diminuiu consideravelmente. Com o aumento da espessura da borda cortante da lâmina do arado de 1 mm para até 6 mm, a força de tração aumentou em 62%, o consumo de combustível aumentou em 41% e o rendimento diminuiu cerca de 30%. A melhor performance foi constatada com a lâmina do arado que tinha 1 mm de espessura.

Natsis conseguiu controlar a umidade com um springler nos solos analisados. Com o aumento da umidade do solo descobriu-se que ocorre um menor desgaste no solo

argiloso e um maior desgaste no solo arenoso. A variação da espessura da ponta da lâmina do arado foi importante para identificar a diferença de força de tração exercida pelo trator no qual variou em até 62%, causando uma diminuição de rendimento e um aumento do consumo de combustível.

Moore (1975) estabeleceu as características de desgaste levando em conta as propriedades dos materiais desgastantes e do solo. Para isto, trabalhou os dados de vários autores para chegar a uma conclusão final. As propriedades do solo que afetam o desgaste das ferramentas de mobilização do solo, não é muito fácil de ser mensurada, devido às varias formas e dureza dos materiais encontrados no solo. O tamanho das partículas abrasivas encontradas no solo tem grande influência no desgaste dos materiais.

Segundo Babichev (1963) são dois os processos de abrasão nos materiais; formação de fissuras, que não envolve remoção de material, separação de partículas de materiais na forma de micro partículas. Materiais que tem a mesma dureza, os desgastes se dão em nível de microestrutura. Após análise dos trabalhos, Moore (1975), conclui que o desgaste abrasivo pelo solo é um processo complexo. Depende da quantidade de pedras e da resistência de penetração do solo. A quantidade de desgaste é determinada pelas propriedades mecânicas do material desgastante e estrutura metalográfica.

Segundo o autor, não é necessário usar sofisticados materiais para controlar o desgaste. Em alguns casos, o aço ao carbono e o aço fundido tem uma boa resistência. Em outros casos, podem ser usadas ligas metálicas. Poderão ser usadas cerâmicas para controlar a abrasividade, num futuro próximo, embora o impacto possa ser catastrófico para esse tipo de material.

Por se tratar de um trabalho relativamente antigo, tendo mais de trinta anos, Moore foi feliz em uma das conclusões, onde cita a cerâmica com um futuro promissor para evitar o desgaste dos órgãos ativos.

Foley et al. (1984) avaliou o uso da alumina cerâmica nos componentes de mobilização do solo. No trabalho, foram utilizadas oito fazendas para fazer os testes. O primeiro teste utilizou um tipo de alumina estampada á frio e colocada com resina epóxi na ponteira, usada na máquina de mobilização do solo. Foram testadas 221 pontas de

cerâmica nas oito fazendas. A distância percorrida nos teste foi de 190 km. A média de desgaste do material com alumina na ponta foi de 4,4: 1 até 9,16:1 menor do que sem a ponteira de alumina. O subsolador foi testado comparando-se uma haste com alumina presa na área de contato através de cola epóxi com a outra haste tendo somente o próprio material do subsolador. A distância percorrida foi de 600 km e a média de desgaste da haste com alumina foi de 8,4 vezes inferiores à haste sem alumina. A alumina cerâmica possui uma resistência ao desgaste muito boa, porque é mais dura que os abrasivos do solo. As aluminas desgastam-se na média 5 vezes mais lentamente do que os aços convencionais, embora as variações no desempenho resultem das mudanças em condições do solo e da carga aplicada. A alumina pode ser mais bem aproveitada nos solos abrasivos que contem poucas pedras e com pouca profundidade de trabalho, onde os riscos de dano por impacto serão minimizados. Outra possibilidade segundo o autor, é utilizar as pastilhas de carbono de tungstênio, que são mais caras também. A alumina tem um grande potencial para reduzir a severidade do desgaste abrasivo em componentes da máquina de mobilização do solo, pode suportar impacto com pedras, embora os riscos de danos aumentem com o seu tamanho. Provavelmente, em poucos anos, novos componentes estejam disponíveis no mercado.

A utilização da alumina cerâmica proposta por Foley realmente mostrou ser muito resistente à abrasão provocado pelo atrito com o solo. Faltou ao autor fazer um comparativo de preço para ver se realmente compensa a utilização da alumina cerâmica nas ponteiras dos equipamentos de mobilização periódico do solo. Este item é um fator preponderante para se avaliar o custo-benefício do equipamento.

Payne (1956) desenvolveu uma relação entre força de atrito e o volume de solo revolvido gerados pelo movimento de ferramentas de cultivo e as propriedades de resistência do solo. As ferramentas utilizadas foram ponteira e lâminas verticais com relações profundidade x largura maior que dois, classificadas como lâminas estreitas e algumas lâminas largas com relações menores que um para compor o desenvolvimento da teoria. O trabalho foi realizado em três fases; experimentos qualitativos, formulação de hipóteses e desenvolvimento de métodos de medição dos parâmetros do solo envolvidos nas hipóteses. Na frente de uma lâmina em movimento, forma-se uma cunha de solo isolada por duas superfícies planas verticais de escorregamento e uma

superfície inclinada no fundo, a qual é ligeiramente curvada. A inclinação desta superfície em relação à horizontal dependerá do ângulo de fricção solo-metal e do ângulo de resistência ao cisalhamento, nunca sendo menor que zero. O movimento da lâmina produz uma série de compressões e falhas no solo. A força de tração é uma função da profundidade com duas componentes, uma proporcional à profundidade e outra a seu quadrado. A força de tração varia quase linearmente com a coesão e o volume de elevação é dependente do ângulo de resistência ao cisalhamento e o ângulo de fricção solo-metal.

Certas considerações devem ser feitas; as condições de laboratório, mesmo que sendo ideais, são muito diferentes das condições de campo. A lâmina ao entrar em contato com a terra pode ocasionar um rompimento diferente daquele feito em laboratório.

Quando se assume a tensão constante depois que a deformação atinge o valor de ruptura, a força de tração pode ser determinada a partir deste último valor de resistência na falha, desde que esteja em um solo homogêneo, sem muitas variações bruscas em sua composição, textura, etc.

Kushwaha (1996) estudou o relacionamento força e velocidade no trabalho de preparo do solo. Para o trabalho, foram utilizadas cinco lâminas, sendo três lâminas sem chanfros e 2 lâminas com chanfro bi-angular formando 90°. O material para fabricação da lâmina foi um aço baixo teor de carbono. O comprimento (100 mm) e a altura (50 mm) foram iguais para as lâminas. A espessura variou suas medidas em 9, 18 e 27 mm. Os testes foram realizados em três locais, com dois tipos de solo, sendo um arenoso e outro argiloso, num total de 100 ha de área testada. A profundidade de trabalho foi de 150 mm e as velocidades variaram de 5 até 64 km/h. Cada teste foi composto de cinquenta medições de força de tração, empuxo, velocidade e profundidade num intervalo de 15 s de duração. Após os testes realizados, concluiu-se que há uma velocidade crítica, onde o desgaste foi mais acentuado. A variação da velocidade de 10,8 km/h até 18 km/h foi considerada crítica, independente das propriedades do solo, condições de operação e tamanho da ferramenta. Os resultados demonstram que a influência da velocidade sobre a força e os parâmetros de

operações, incluindo as propriedades físicas devem ser considerados no preparo do solo.

Cabe dizer também que uma análise da velocidade em relação ao rendimento de trabalho seria um fator preponderante para uma análise de custo total envolvendo desgaste da ferramenta, velocidade de trabalho e rendimento total do trabalho desenvolvido no solo.

Bobobee (2006) identificou os tipos de cultivadores de tração animal, desenvolveu e testou um novo tipo de aço fundido e determinou os fatores responsáveis pelo rápido desgaste nos solos de Gana. Os testes foram realizados em Tamale e Wa, zona agroecológica de Gana em 38 fazendas. Os solos utilizados em Tamale foram uma mistura de Argissolo e Plintossolo e em Wa uma mistura de Luvisolo e Plintossolo. O material desenvolvido para fazer os testes foi aço fundido temperado 0,4-0,5% C 0,6-0,7% Mn; 0,2-0,3% Ni; 0,1-0,2% Cr; 1,3-1,6% Si; 0,12% S e 0,05% Ph. Para se fazer uma comparação entre ponteiros, foi utilizada uma denominada Blacksmith, outra denominada importada e uma de ferro fundido. A ponteira importada foi forjada e tratada termicamente, ao passo que a Blacksmith foi apenas forjada. Após os ensaios, a menor taxa de desgaste para o aço forjado ficou em 146 g/ha e 164 g/ha em Wa. A maior taxa coube a Wa com 176 g/ha trabalhado. A média geral de desgaste ficou em 162 g/ha. A taxa de desgaste do aço forjado foi similar ao importado e desgastou duas vezes menos do que o Blacksmith. As taxas de desgaste foram maiores em solos com aumento da quantidade de areia. Os principais fatores que afetaram a taxa de desgaste incluindo composição química, dureza e fatores físicos do solo, foi a quantidade de areia e a umidade. A durabilidade do aço fundido foi de 3 a 8 ha por ponteira, ao passo que a Blacksmith foi de 1 a 2 ha e a ponteira importada foi de 2 a 5 ha.

O trabalho de Bobobee faz muitas comparações de taxa de desgaste entre um material e outro. Embora um trabalho como este seja muito recente, este autor também na fez um comparativo de custo entre os materiais analisados, o que poderia se transformar para os fazendeiros da região de Gana, em uma ótima bibliografia para ser consultada e seguida pelos agricultores da região. As durezas dos materiais também não foram citadas em nenhum momento do trabalho.

Raval (1990) em seu trabalho sobre desgaste da ponteira do cultivador recoberto por depósito de material, comparou o desgaste de cinco ponteiras com depósito de material em sua superfície. Cinco tipos de eletrodos para depósito foram selecionados, sendo; Ultimum N112, Cromcard N6006, Modi 600, Lomet 303 e Lomet 304. As cinco ponteiras foram limpas, sendo retirada a tinta e a oxidação por meio de jateamento. Após cada ponteira devidamente preenchida com o depósito de material (solda), foram executados os testes para desgaste do material. A máquina construída para o teste do desgaste de material tem forma cilíndrica, com diâmetro externo de 291 cm e diâmetro interno de 187 cm e uma largura de trabalho de 104 cm, conforme Figura 16.

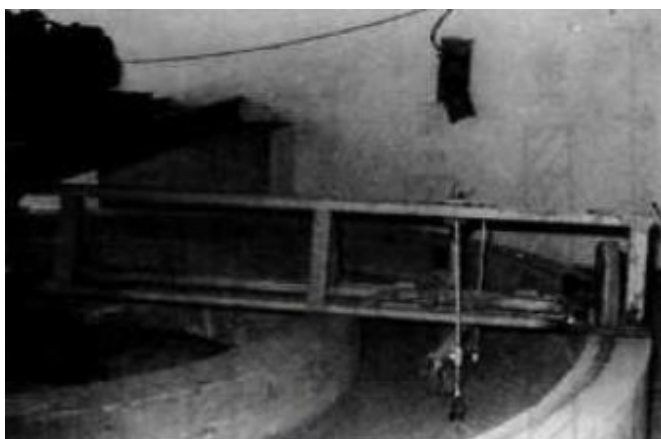


Figura 16 - Máquina para desgaste das ponteiras. Fonte: RAVAL (1990)

Inicialmente as ponteiras foram pesadas em uma balança com uma sensibilidade de 100 mg. Sob umidade controlada, as ponteiras foram testadas a uma profundidade de 13 cm durante um período de 10 horas e a uma velocidade periférica de 5 rpm. O processo foi repetido cinco vezes, num total de 50 horas de desgaste para cada ponteira. Os resultados mostraram que as ponteiras com revestimento gastaram bem menos do que as sem revestimentos. O melhor desempenho foi da ponteira com o eletrodo Ultimum N112, mas com um custo sete vezes superior a do Lomet 303.

Todos os materiais de cobertura reduziram sensivelmente o desgaste, ficando por conta do Lomet o melhor custo - benefício.

Este tipo de trabalho é muito interessante, mas deve-se tomar cuidado com a temperatura de trabalho de deposição da solda, pois as características metalográfica do material podem sofrer alteração com a alta temperatura empregada para soldar. O material poderá tornar-se mais frágil, devido o aumento de dureza na região e quebrar

durante a operação de cultivo. Isto se deve ao fato da ponteira entrar em contato com pedras e cascalhos durante o trabalho de mobilização do solo, o que não acontece nos testes de laboratório.

Zhang e Kushwaha (1995) desenvolveram um modelo tri-dimensional para determinar a resistência do solo. Este modelo foi baseado no trabalho de McKyes – Ali. A metodologia proposta visava otimizar a formulação matemática, reduzir o tempo de cálculo e eliminar o uso de cartas para obter os coeficientes necessários para predição da resistência de corte do solo, conforme mostrado na Figura 17.

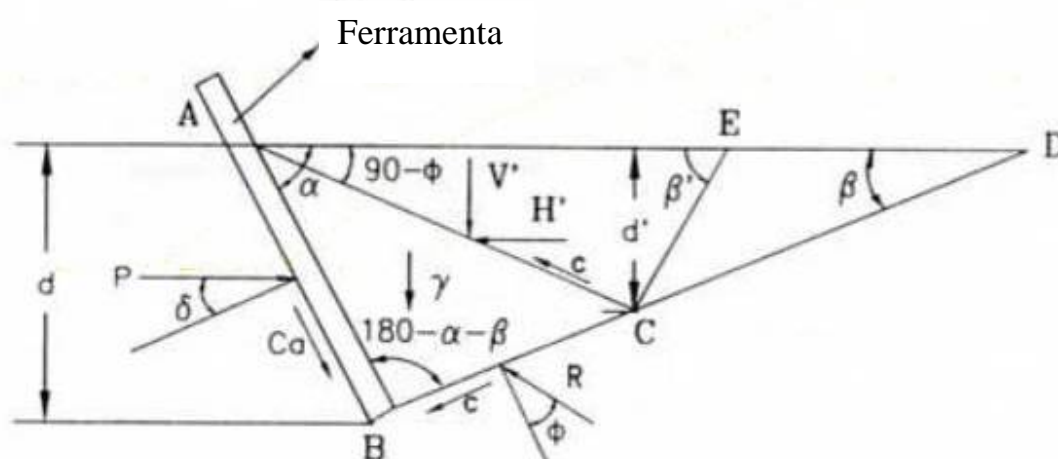


Figura 17 - Modelo para determinar a resistência do solo. Fonte: ZHANG (1995)

Para maior profundidade d , tem-se um valor β maior, causando uma maior resistência do equipamento para penetrar no solo.

Sverzut et al. (2007) avaliou um conjunto de ponteiros de escarificador tipo cinzel quanto ao grau de deterioração por abrasão e corrosão. Foram usadas 5 ponteiros de um escarificador, distribuídas pelo fabricante da máquina. Uma ponteira do conjunto foi caracterizada nas propriedades mecânicas e metalúrgicas. O conjunto foi submetido a ensaios de campo para avaliação do desgaste ocorrido, mensurado pela perda de massa. O conjunto foi ensaiado em três áreas, duas de cultivo e uma de pastagem. Um alto grau de desgaste por abrasão foi observado nas ponteiros no solo sob pastagem, comparado ao solo sob cultivo agrícola.

O autor concluiu que as ponteiros do escarificador sofrem um acentuado desgaste por abrasão, principalmente na área sob pastagem. O material constituinte das ponteiros apresenta características mecânicas e metalúrgicas interessantes para evitar fraturas, mas pouco resistente à abrasão. A disposição das ponteiros não influencia em uma maior perda de massa.

Bolzani et al. (2007) avaliou o desgaste ocorrido em um conjunto de ponteiros durante a operação agrícola de escarificação do solo. Foram escarificadas duas áreas agrícolas, uma com 19 e outra com 11,5 hectares, sendo o solo da segunda de textura mais grosseira que o da primeira. O desgaste foi avaliado pela determinação da massa do conjunto de cinco ponteiros de um escarificador, antes e após o trabalho. A perda de massa foi de 188,3 g na primeira área e de 225,5 g na segunda, o equivalente a 7,4 e 9,5 % da massa de uma ponteiro nova, respectivamente. Apesar de se tratar de uma área menor, a maior perda de massa ocorreu na área mais arenosa.

O autor concluiu que após o trabalho realizado, as ponteiros apresentaram desgaste por abrasão. O desgaste ocorrido foi significativamente maior na área 2, que apresentou textura mais arenosa. A avaliação visual das ponteiros demonstra alteração considerável em sua forma e dimensões, em função do desgaste ocorrido.

2.6 Materiais utilizados atualmente

Em recente pesquisa feita no AGRISHOW 2007 em Ribeirão Preto – SP, em uma das maiores feiras da agricultura da América Latina, foram consultadas diversas empresas à respeito do material utilizado para a fabricação das ferramentas de mobilização periódica do solo, sendo colhido dados técnicos e também tirado fotos dos respectivos equipamentos da empresa consultada.

A Figura 18 mostra o arado de aivecas IKEDA, versão reversível.



Figura 18 - Arado reversível IKEDA MR 3P

A relha e a aiveca lisa são fabricadas em aço alto carbono 1060/70 com liga ao manganês, temperado e revenido. As relhas e as aivecas são em aço carbono tipo mola, com liga ao manganês, temperado, revenido e revestida com eletrodo de cromo duro, conforme mostrado na Figura 19.



Figura 19 - Detalhe da ponteira com revestimento de eletrodo. Fonte: IKEDA

O arado subsolador ASDADR tem como material em sua haste, o ferro fundido nodular, e a ponteira fabricada com aço ABNT 1045, temperado e revenido variando a dureza entre 58 a 62 HRC, conforme mostrado na Figura 20.



Figura 20 - Vista parcial da haste e ponteira do arado da BALDAN

O arado de aivecas reversível pesado, Figura 21 é constituído de ferro fundido branco para a lateral da concha do arado, aço ABNT 5160 temperado e revenido para a ponteira, variando a sua dureza de 38 a 42 HRC e a haste, conforme Figura 22 é feita de ferro fundido cinzento com dureza de 198 HB.



Figura 21 - Arado AARP da TATU



Figura 22 Haste do subsolador da TATU

O cultivador com ponteira alada tem como material em sua haste e na ponteira, o aço ABNT 1045 sem tempera, Figura 23 e o cultivador de ponteira dupla, o material da haste é o aço ABNT 1045 e da ponteira é o aço ABNT 8160 conforme Figura 24.



Figura 23 - Cultivador com ponta alada da DRIA 2.00.11.503



Figura 24 - Cultivador de ponteira dupla da DRIA 2.00.11.513

A haste do arado subsolador é fabricada com ferro fundido GG50 e a ponteira com aço 1070 temperado e revenido conforme Figura 25 abaixo.



Figura 25 - Arado subsolador da Piccin

Para o sulcador da Figura 26, a haste é fabricada com ferro fundido GG50 e a ponteira com aço ABNT 1045 sem tempera.



Figura 26 - Sulcador da Piccin

A haste é fabricada com aço ABNT 1045 temperado e revenido, Figura 27 variando de 38 a 42 HRC e a ponteira é fabricada com aço forjado 5160 com dureza variando de 50 a 52 HRC.



Figura 27 - Haste do sulcador da JM 2960 da Jumil

3 CONCLUSÕES

A taxa de desgaste dos órgãos ativos aumenta com a variação da velocidade, sendo mais crítica na faixa dos 10 até 18 km/h.

A textura e o teor de água do solo são fatores que influenciam na taxa de desgaste dos órgãos ativos. O aumento do teor de água em solos argilosos diminui a taxa de desgaste, enquanto que em solos arenosos aumenta.

O desgaste da extremidade de corte das lâminas causa um aumento de força de tração, aumento no consumo de combustível e diminuição na profundidade de trabalho.

O uso de materiais com maior dureza, aumenta a vida útil do órgão ativo.

O uso de carbetos de tungstênio ou compostos de cobalto para proteger as extremidades de corte das hastas do subsolador pode ser uma alternativa para aumentar a sua vida útil.

A literatura não apresenta uma análise econômica relacionando a taxa de desgaste com parâmetros operacionais.

A destinação final correta dos órgãos ativos que sofreram desgaste, deve ser uma preocupação para diminuir o risco de contaminação do ambiente.

REFERÊNCIA

- ASHBY, M.F. **Materials selection in mechanical design**. Oxford: Pergamon Press, 1992. 311 p.
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 187 p.
- BARROS, C. de. **Estudo da relação entre resistência à abrasão e dureza de ligas odontológicas de metais básicos para restauração metalocerâmica**. Tese de Doutorado em Odontologia. Ribeirão Preto, 2002. 82 p.
- BOBOBEE, E.Y.H.; SRAKU-LARTYEY K.; FIALOR, S.C.; CANACCO, E.A.; AGODZO S.K.; YAWSON A.; GEBRESENBET G. Wear rate of animal-drawn ploughshares in selected Ghanaian soils. **Soil & Tillage Research**, v 93, p. 299–308, 2007.
- BOLZANI, A., COLET, M. J., BEJARANO, J. M. Z, SVERZUT, C. B. **Avaliação do desgaste de ponteiros de escarificador pela abrasão do solo**. CONBEA – Bonito MS – 2007, 1 CD-ROM.
- BOWDITCH, H.G. Analysis of wear scarifier shares. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Austrália, v.14, n1, p. 32-39, 1969
- BROWN, S.W.; BAKER C.J., Wear characteristics of a direct-drilling opener. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.6, p.247-260, 1986.
- BUSSAB, R. A. ; SANTOS, J. E. G. . Projeto e construção de bancada para verificação do desgaste dos órgãos ativos de implementos agrícolas submetidos á abrasão em quatro tipos de solos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 547-555, 2003.
- BUTTON, S.T.; GENTILE, F.C. Estudo do processo de cross-wedge rolling para a produção de eixos escalonados com aços microligados. Tr: SENAFOR, 21., Gramado, **Trabalhos**: Gramado, 2001. 16 p.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica**, São Paulo, v.2, 1986, 315 p.
- COLVIN, T.S.; ERBACH D.C.; BUCHELE W.F. Tillage index based on created soil conditions. **Transactions of ASAE**, St Joseph, v. 27, p 370-371, 1984.
- COMTRON Sistemas de Controle. Disponível em < http://www.comtron.com.br/download/ensaio_de_dureza_rockwell.doc> Acesso em 02 de agosto de 2007.
- COPERTEC Inspeções e Engenharia. Disponível em <www.copertec.com/ensaio_dureza.htm> Acesso em 31 de julho de 2007.
- DELLA COLETTA, D.; SILVA, M.J.M. **Tecnologia e ensaio de materiais**. São Paulo, 1988, 231 p.

KHRUSHCHOV, M. M. AND BABICHEV, M. A. Research on wear of metals. **N E L Translation**, Russia, v.893, 1963

KUSHWAHA R.L.; LINKE C.; Draft-speed relationship of simple tillage tools at high operating speeds, **Soil & Tillage Research**, Alemanha, v. 39 p. 61-73, 1996.

FERGUNSON, S.A.; FIELKE, J.M.; RILEY, T.W. Wear of cultivator shares in abrasive south australian soils. **Journal of Agricultural Engineering Reserch**, London, v.69, p.99-105, 1998.

FERREIRA, A. B. H., **Mini Aurélio Século XXI Escolar**. 2ª edição, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001, 790 p.

FIELKE, J.M.; RILEY, T.W.; SLATTERY, M.G.; FITZPATRIK, R.W. Comparison of tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivator shares. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.25, n.4, p.317-328, 1993.

FOLEY A G; CHISHOLM C J; MCLEES V A .Wear of ceramic protected subsoilers. **Tribology International**, Reino Unido, v. 21(2), p. 97–103, 1988.

FOLEY A.G.,LAWTON P.J.,BARKER A.,MCLEES V.A, The use of alumina ceramic to reduce wear of soil-engaging components. **Journal of Agricultural Engineering Reserch**, v. 30, p. 37-46, 1984.

GADANHA JR. C.D.;MOLIN J.P.;COELHO J.L.D.;YAHN C.H.;TOMIMORI S.M.A.W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**,1991.469 p.

GILL, W.R.; VANDEN BERG, G.E.V. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1968. 511 p.

GUIBERT, A.A.P.; GOMES, P.A.;KOLE, A.T. **Ensaio de materiais**, São Paulo, v.1, 2000, 208 p.

LRM Laboratório de Resistência de Materiais. Disponível em <www.lrm.ufjf.br/pdf/12rockwell.pdf> Acesso em 03 de agosto de 2007.

MACHADO, I. **Tratamentos térmicos e de superfície**, São Paulo, v.1, 2001, 17 p.

MARTINS, A.R., VIDAL A.C., CAMINHA I., ABUD I.,Desenvolvimento de padrões de dureza no Brasil: Estudo da influência de parâmetros de tratamento térmico nos valores de não uniformidade. In: JORNADAS SAM/ CONAMET/ SIMPOSIO MATERIA 2003, Rio de Janeiro, **Trabalhos**: Rio de Janeiro, p 425-428, 2003.

MECÂNICA; **Ensaio de materiais**. São Paulo; SENAI/GLOBO, 2000 .(TC2000), p 77-100

MEDEIROS, M. H. F. **Estruturas de concreto com corrosão de armaduras por carbonatação**: comparação de argamassas de reparo quanto a proteção do aço., 2002. 193 p. Dissertação na área de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MENDES, V. B., LETA, F. R. Automatic Measurement of Brinell and Vickers Hardness Using Computer Vision Techniques, In: XVII IMEKO World Congress, 2003, Dubrovnik. XVII IMEKO World Congress, 2003

MENDES V. B., LETA, F. R, DE MELO J.C.S., Medição de identificações de dureza com algoritmos de visão computacional e técnicas de decisão com incertezas. **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 15-35, ago. 2004

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas** -Ensaio e certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz" -FEALQ, 1996. 722 p.

MISCOW G. F.; MIRANDA P. E. V. de. Análise do comportamento em tração uniaxial e fadiga de liga de alumínio d16t. In: JORNADAS SAM/ CONAMET/ SIMPOSIO MATERIA 2003, Rio de Janeiro, p. 679-682.

MOORE, M.A. The abrasive wear resistance of surface coatings. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Reino Unido, v. 20, p.167-179,1975.

MOORE M.A. Abrasive wear by soil. **Tribology International**, Reino Unido, Jun . 1975, p.105-110.

MOORE M.A. MCLEES V.A. Effect of speed on wear of steels and a copper by bonded abrasives and soils. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Reino Unido, v. 25, p. 37-45, 1980.

NATSIS A. PAPADAKIS G., PITSILIS J.. al, The influence of soil type, soil water and share sharpness of a mouldboard plough on energy consumption, rate of work and tillage quality, **Journal of Agricultural Engineering Research**, Grécia v. 72, p. 171-176,1999.

NASCIMENTO, J. L., LETA F.R. MENDES V.B. Expressão da Incerteza de Medição da Dureza Vickers - Parâmetros Relevantes, CONEM, Paraíba, Brasil.2001

OWSIK, Z. Wear of symmetrical wedge-shaped tillage tools. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.295-308, 1997.

OWSIK, Z. Wear of spring tine cultivator points in sandy loam and light clay soils in southern Poland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.50, p.333-340, 1999.

PAYNE, P.C.J. The relationship between the mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Reino Unido, v1, n 1, p. 23-50,1956.

- PENTEADO B. M. **Ensaio de materiais**. Fundação Roberto Marinho. v1, 2003, 208 p.
- PINEDO, C.A. Nitretação por plasma proporciona endurecimento superficial de aços-ferramenta. **Plástico Industrial**, nº 172, 04/2004.
- QUIRKE, S.; SCHEFFLER, O.; ALLEN, C.,. An evaluation of the wear behaviour of metallic materials subjected to soil abrasion. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p. 27-42, 1988.
- RAVAL A. H.;KAUSHAL O.P. Wear and tear of hard-surfaced cultivator shovel. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, India, v.21,n2, p. 46-48, 1990.
- REIS A.V.;FORCELLINI F.A. Seleção de materiais para ponteira de escarificadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.2, p. 270-277, mai.2002
- SALOKHE V.M.; Gee-Clough, D. Wear testing of enamel coating rings. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.21, p.121-131, 1991.
- SANTOS, J. E. G.; FERNANDES, J. C.; BORMIO, M. R.; SANTOS FILHO, A. G. Avaliação do desgaste de implementos agrícolas para diversos tipos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31. 2002, Salvador. **Anais**: Salvador: SBEA - Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 4p.
- SCHFFER O; ALLEN C. The abrasive wear of steels in South African soils. **Tribology International**, Africa do Sul , v.21, n.3, p.127–135, 1988.
- SILVEIRA G.M. **Estudo do desgaste por abrasão em subsolador**. Dissertação na área de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1969, 57 p.
- SILVEIRA G.M. **Estudo da abrasão em órgãos ativos de cultivador**. Dissertação na área de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970, 72 p.
- SILVEIRA G.M. Desgaste em cultivadores. Estudos preliminares sobre odesgaste provocado por abrasão. **Engenharia Agrícola**, Campinas, v.2, n.1, p.14-18,1973.
- SILVEIRA, G. M. ; VIEIRA, R. R. . Estudo do desgaste abrasivo provocado por impacto em órgãos ativos de máquinas agrícolas. **O Agrônômico**, Campinas, v.26, n. 1, p. 31-40, 1974.
- SKINNER,E.W.;LASATER,R.L.,Abrasion of dental gold alloys. **Journal of Dental Research**, Chicago, v.21, n.1,p. 103-106,1942.
- SOHANE B.P.;PIDGEON J.D.Tillage requirement in relation to soil physical properties. **Soil**, v.119,p. 376-384,1975

YUH J; BHOLE.S .D, Development of a prototype abrasive wear tester for tillage tool materials. **Tribology International**, Canada, v. 23, n.5, p. 309–316, 1990.

SVERZUT, C. B; BOLZANI, A., COLET, M. J., BEJARANO, J. M. Z. **Caracterização de ponteiros de escarificador e avaliação do grau de desgaste por abrasão e corrosão**. CONBEA – Bonito MS – 2007, 1 CD-ROM.

ZHANG, JI; KUSHWAHA R.L. A modified model to predict soil cutting resistance. **Soil & Tillage Research**, Canada, v.34, p.157-168, 1995.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)