

ESTUDO DA ABRASÃO EM ÓRGÃOS
ATIVOS DE CULTIVADOR

GASTÃO MORAES DA SILVEIRA

Engenheiro Agrônomo

Magister Scientiae pela Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz" U.S.P.

Engenheiro Agrônomo da Divisão de Engenharia
Agrícola, Instituto Agronômico do Estado
de São Paulo

Tese apresentada, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-
dade de São Paulo.

Setembro de 1970
Piracicaba, Estado de São Paulo
B R A S I L

À meus pais, espôsa e avó

Í N D I C E

| | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 3.1. Solo | 15 |
| 3.1.1. Características Granulométricas | 15 |
| 3.1.2. Análise Mineralógica da Fração Grosseira | 17 |
| 3.1.3. Determinação da Dureza dos Grãos de Quartzo | 18 |
| 3.1.4. Determinação do Arredondamento dos Grãos de Quartzo | 19 |
| 3.2. Enxada de Cultivador | 20 |
| 3.3. Preparo das Enxadinhas | 23 |
| 3.4. Ensaio de Campo | 28 |
| 3.4.1. Ensaio na Série Taquaral, Série Sertãozinho e Perfil P ₃ | 29 |
| 3.4.2. Ensaio no Perfil P ₄ | 30 |
| 3.4.3. Análise dos Resultados | 32 |
| 4. RESULTADOS OBTIDOS | 34 |
| 4.1. Resultados dos Ensaio na Série Taquaral, Série Sertãozinho e Perfil P ₃ | 35 |
| 4.2. Resultados dos Ensaio no Perfil P ₄ | 39 |
| 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO | 42 |
| 5.1. Análise e Discussão dos Resultados na Série Sertãozinho, Série Taquaral e Perfil P ₃ | 42 |
| 5.2. Análise e Discussão dos Resultados no Perfil P ₄ | 54 |
| 6. CONCLUSÕES | 59 |
| 7. RESUMO | 62 |
| 8. SUMMARY | 64 |
| 9. BIBLIOGRAFIA CITADA | 66 |
| AGRADECIMENTOS | 71 |

1. INTRODUÇÃO

O crescente emprêgo de máquinas nas explorações agrícolas tem concorrido para que um significativo número de operações envolvam o trabalho de órgãos ativos, diretamente em contacto com o solo. O desgaste dêsses órgãos, representado pela perda de material, assim como o estudo de metais e processos tecnológicos visando a reduzir tal perda, têm elevado significado econômico.

Em alguns países, êsse assunto tem merecido a atenção não só dos pesquisadores, como também dos fabricantes de máquinas agrícolas. No Brasil, o desenvolvimento de pesquisas neste campo se faz necessário não só para orientar os fabricantes nacionais sôbre os materiais que melhor resistam ao desgaste, como também para verificar se as técnicas por êles utilizadas,

visando a aumentar a resistência dos metais atualmente empregados, podem ser aprimoradas.

Este trabalho tem por objetivo estudar o desgaste de órgãos ativos de cultivador, em face da constatação, em pesquisas preliminares, que solos Podzolizados com Cascalho da região de Jundiaí, S.P., originaram valores de desgaste extremamente elevados em peças ativas de cultivadores produzidas por fabricantes nacionais. O estudo dos órgãos ativos de cultivador é conduzido de forma a verificar o seu comportamento com relação ao desgaste em solos pertencentes à série Taquaral (Latosol Roxo), série Sertãozinho (Regossol), e solo Podzolizado com Cascalho Perfís P₃ e P₄. Quanto aos materiais, além do empregado pelos fabricantes nacionais, são utilizados mais três, procurando-se constatar a influência do teor de carbono e de elementos de liga. A influência da dureza é também considerada, através de seu estudo em quatro níveis diferentes, utilizando-se materiais com composição química e estrutura constantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desgaste de metais, segundo JASTRZEBSKI (1959), é um fenômeno de superfície e pode ser definido como um desligamento e deslocamento de partículas da superfície metálica, originada pela sua fricção com outros corpos. ROSENBERG et al. (1948) classificam o desgaste em três tipos, de acordo com a natureza das superfícies que se friccionam. Se o contacto da superfície metálica é com um outro metal, o desgaste é dito "desgaste metálico", se é com um não metal, é denominado "desgaste por abrasão" e, se fôr com um fluxo de líquido ou de gás, "desgaste por erosão".

Nos órgãos ativos das máquinas que trabalham em contacto com o solo, segundo BORNEMANN et al. (1958), ocorre desgaste por abrasão. As partículas duras do solo, através da

fricção, riscam a superfície do metal, provocando o seu rompimento, originando a desagregação mecânica do material.

A interação do solo com as peças ativas das máquinas agrícolas, de acôrdo com GILL & VANDEN BERG (1967), constituem, na abrasão, um "sistema solo-metal". Neste, os fatores que atuam são: características do metal, do solo e de ordem operacional.

As propriedades dos materiais que se relacionam com a abrasão, segundo BORGHEI (1968) são: dureza, estrutura, tratamento térmico, teor de carbono e elementos de liga.

No que diz respeito à influência da dureza no desgaste abrasivo, parece haver certa divergência entre os autores. Alguns pesquisadores julgam que dureza é sinônimo de resistência ao desgaste, isto é, que ela deve ser considerada como fator determinante da resistência à abrasão. Outros, entretanto, são de opinião que dureza não pode ser tomada como único fator que determina a resistência ao desgaste.

ROSENBERG et al. (1948), BORNEMANN et al. (1958) e JOMINY et al. (1961) atribuem importância à dureza, baseando-se no fato de que o riscamento da superfície de um metal, provocando o seu rompimento e originando o desligamento e destacamento de suas partículas, somente pode ser ocasionado por substâncias mais duras que ela mesma.

VELIKANOVA (1962) efetua trabalhos em aço U8 (0,83% C, 0,35% Mn, 0,26% Si) submetido a tratamento térmico e verifica haver uma relação linear entre a dureza do metal que varia de 219 a 810 HV 0,2^(*) e a resistência ao desgaste. O trabalho foi

(*) A norma TC 17-921 da I.S.O. (1959) especifica a indicação da dureza Vickers, através da carga e seu tempo de aplicação, quando este difere de 10 a 15 segundos. Muitos autores, entretanto, não fornecem esses dados de forma completa. Do ravante, as citações serão feitas utilizando-se os dados apresentados pelos autores e, nos demais casos, de acôrdo com a norma I.S.O.

desenvolvido em um solo arenoso tendo 40% de feldspato, com dureza variando de 500 a 700 HV, e 45% de quartzo, com dureza variando de 1.000 a 1.500 HV. O autor caracteriza o solo através de sua textura e apresenta os seguintes valores de tamanho e quantidade das partículas: a) de 0,25 a 1 mm - 32,53%; b) de 0,05 a 0,25 mm - 49,37% e c) menores que 0,05 mm - 18,10%.

Outros autores, entretanto, são de opinião que a estrutura também deve ser levada em conta. NOVITISKAIA (1959) estuda os aços U8, U10 (1,02% C, 0,22% Mn, 0,18% Si) e U12 (1,17% C, 0,25% Mn, 0,22% Si). Os aços U8 e U10, recozidos a diferentes temperaturas, apresentando estrutura perlítica e dureza variando de 215 a 272 HV 0,2. O aço U12, submetido a várias tâmperas, mostrou estrutura martensítica e dureza variando de 580 a 950 HV 0,2. Comparando as estruturas e as durezas com as respectivas resistências ao desgaste, conclui-se que o estudo da estrutura é um fator mais importante do que a dureza, para a avaliação da resistência ao desgaste.

Em nossas condições, SILVEIRA (1969) mostra que a microestrutura formada de martensita revenida, com dureza entre 34 e 48 HRC, é mais resistente à abrasão, quando comparada com a microestrutura formada de perlita e ferrita, com dureza entre 90 e 95 HRB, em solo pertencente à série Sertãozinho, no município de Piracicaba, e Latossol Vermelho Amarelo, fase Cascalhada, no município de Jundiá.

Rosenblatt, citado por BORGHEI (1968), afirma que a microestrutura e, conseqüentemente, a medida da microdureza das fases presentes também deve ser levada em consideração como critério para avaliar a resistência à abrasão. Assim sendo, é necessário considerar separadamente, além das propriedades das diversas fases, também a morfologia resultante.

No que diz respeito à estrutura, alguns autores julgam ser a martensita a mais resistente à abrasão e mostram que um metal terá maior resistência à medida que a quantidade de micro-

constituintes duros fôr aumentada. Segundo BORGHEI (1968), as durezas máximas que se podem obter habitualmente em aço carbono com os seguintes microconstituintes são: ferrita - 160 HV; perlita - 260 HV; bainita - 550 HV; martensita - 750 HV e os carbonetos - 1.200 HV.

Dentre os autores que pesquisam a influência do tratamento térmico no desgaste apresentado pelos órgãos ativos de máquinas agrícolas, podemos citar:

STROPPEL (1961) estuda a influência do tratamento térmico em aço indicado para construção de relhas, cuja composição, segundo a norma DIN 11-100, é de 0,43% C, 1,40% Mn, 0,60% Si, 0,07% P, 0,07% S. Verifica que o desgaste da relha que não recebeu têmpera é de três a quatro vezes maior, quando comparada com o de outra temperada a 850°C e revenida a 300°C, tendo dureza 700 HV.

SILVEIRA (1969) estuda em nossas condições, o aço ABNT 1060, em órgãos ativos de subsolador, e verifica que as peças normalizadas, com dureza entre 90 e 95 HRB, desgastaram, em média, 1,37 vezes mais do que as temperadas e revenidas a 300°C, com dureza entre 34 e 48 HRC.

Quanto ao teor de carbono, ROSENBERG et al. (1948), MOHSENIN et al. (1956), NORMAN (1958) e JOMINY et al. (1961) afirmam que, com o aumento do teor de carbono de um aço até 0,6% C, a dureza da matriz martensítica cresce com o teor de carbono. Acima de 0,6% C, o aço torna-se mais resistente à abrasão, quando há aumento da quantidade de carbonetos metálicos.

REED & McCREERY (1954) estudam aço carbono com teores de carbono entre 0,47% e 0,96% e dureza variando de 36 a 52 HRC; concluem que, se dois aços têm a mesma dureza, o que tiver teor de carbono mais elevado irá oferecer maior resistência à abrasão. Evidentemente, para o mesmo teor de carbono, a dureza da matriz e a quantidade e distribuição dos carbonetos metálicos

variam conforme o tratamento térmico a que o aço tenha sido submetido.

NOVITSKAIA (1959) estuda aços carbono com teores de carbono variando entre 0,05% e 1,17%, recozidos, apresentando dureza entre 140 e 305 HV 0,2 e temperados, tendo dureza entre 250 e 945 HV 0,2. Demonstra que a resistência ao desgaste por abrasão e a dureza dos aços recozidos crescem de uma maneira linear com o aumento do teor de carbono. Comprova também que a resistência à abrasão e a dureza dos aços temperados aumentam linearmente até o teor de 0,6% de carbono; a partir deste valor, o aumento tanto da dureza como da resistência à abrasão é maior.

NORMAN (1958) explica a ação dos elementos de liga através de sua relação com a microestrutura dos metais. Os elementos de liga aumentam a temperabilidade dos aços, produzindo estruturas martensíticas. A adição de elementos de liga ocasiona um aumento na resistência à abrasão dos aços. De acordo com ROTHERY (1968), este efeito decorre do aumento de temperabilidade, da maior resistência ao impacto e da formação de carbonetos de dureza mais elevada.

REED & McCREERY (1954) efetuam um estudo comparativo entre aços SAE 6160 (0,58 - 0,63% C, 0,70 - 0,90% Mn, 0,040% P, 0,040% S, 0,20 - 0,35% Si, 0,80 - 1,10% Cr, 0,15% V) e aço SAE 1080 (0,75 - 0,88% C, 0,60 - 0,90% Mn, 0,040% P, 0,040% S), ambos a 45 HRC, e concluem que o aço SAE 6160, apesar da presença de elementos de liga, se desgastou mais que o SAE 1080. O autor atribui este resultado ao fato de o aço SAE 1080 possuir 0,20% a mais de carbono do que o aço SAE 6160.

As principais características físicas do solo que afetam o desgaste por abrasão, segundo GILL & VANDEN BERG (1967), são: conteúdo de água, tamanho, quantidade, aspereza ou angulosidade, e a dureza das partículas do solo.

Quanto ao teor de água no solo e sua relação com a

abrasão, Karatish, citado por GILL & VANDEN BERG (1967), estuda em áreas irrigadas, onde a umidade pode ser alterada, o desgaste em relhas de arados. Em um solo areno-barrento, observa que a vida útil de uma relha em termos de área trabalhada, é de 1,6 ha para umidade de 6 - 7%, de 2,4 ha para 12 - 13% e de 6,4 ha para 16 - 18%.

SILVEIRA et al. (1970) estudam o desgaste de órgãos ativos de subsolador em solo pertencente à série Sertãozinho e ao grande grupo Latossolo Vermelho Amarelo, fase Cascalhada, observam uma proporcionalidade linear negativa entre o desgaste e a umidade.

LECHNER & McCOLLY (1959) realizam ensaios de desgaste em laboratório, com materiais usados na construção de ferramentas agrícolas. Utilizaram-se de um barril com solo argilo-arenoso, cuja análise mecânica revelou: 58,2% de areia, 36,4% de limo e 5,4% de argila. Os autores, durante os ensaios, mantêm a umidade ao redor de 10,80%, porque constatam que, havendo variações, estas influenciam os resultados.

VAL'DMA (1959) e Burwell, citado por BORGHEI (1968), afirmam que o desgaste aumenta rapidamente, quando crescem as dimensões dos grãos abrasivos. Quando os grãos alcançam certo tamanho, rolamento ocorre, somando-se com o escorregamento, tornando o desgaste ainda maior.

Howorth, citado por BORGHEI (1968), afirma que a forma ou o grau de angulosidade das partículas abrasivas é um fator importante e que as partículas angulosas, tendo arestas cortantes, produzem maior desgaste que as partículas arredondadas de um abrasivo mais duro.

BORGHEI (1968) e Khrushtchov e Babichev, citados por BORGHEI (1968), afirmam que o poder de abrasão de um solo depende essencialmente da dureza, dimensão e angulosidade das partículas abrasivas.

Quanto à dureza das partículas do solo, NORMAN (1958) estuda o desgaste provocado por quartzo com dureza 750 Knoop, feldspato 560 Knoop e calcita 150 Knoop em aço 1080, tendo estrutura martensítica e dureza 760 Knoop. O autor conclui que o quartzo produziu um desgaste 8,5 vezes maior que a calcita e 4,5 vezes maior que o feldspato.

No que diz respeito à abrasividade dos solos, GILL & VANDEN BERG (1967) sugerem o uso de um material padrão, que possa ser ensaiado em diversos solos, correlacionando o desgaste com o solo. Os autores também sugerem a confecção de um mapa geográfico que mostrasse a abrasividade dos solos, o que poderia dar uma indicação de que tipo de solo deveria ser empregado na seleção de materiais resistentes à abrasão.

Nas nossas condições, SILVEIRA et al. (1970), usando o aço ABNT 1060, normalizado, temperado e revenido concluem que o Latossolo Vermelho Amarelo, fase Cascalhada, produziu maior desgaste que a série Sertãozinho.

As características operacionais que exercem influência sobre o desgaste, segundo GILL & VANDEN BERG (1967), são: a profundidade de trabalho, o tempo e a velocidade relativa entre a superfície metálica e o solo.

Quanto à quantificação do desgaste, a maioria dos autores expressa em função da perda de peso do material. Outros, como BORGHEI (1968), relacionam a perda de peso (massa) com o espaço percorrido e a denominam "taxa de desgaste". Esse autor estuda aço XC 97g (0,97% C, 0,55% Mn, 0,35% Si), temperado e revenido, com dureza entre 40 e 45 HRC, e obtém taxas de desgaste de 0,25 a 0,54 g/km.

SILVEIRA (1969), em nossas condições, pesquisa em órbitas ativos de subsolador o aço ABNT 1060, normalizado e temperado e revenido com durezas entre 90 e 95 HRB e 34 a 48 HRC, em solos pertencentes à série Sertãozinho, com umidade entre 6,7 e

12,0% e Latossolo Vermelho Amarelo, fase Cascalhada, com umidade entre 9,4 e 10,2%, obtém taxas de desgaste que variam de 2,34 a 6,46 g/km. SILVEIRA (1970) realiza ensaios preliminares de abrasão em enxadinhas de cultivador, produzidas por fabricantes nacionais, construídas de aço ABNT 1070, com dureza superficial entre 23 e 27 HRC, tendo estrutura formada de perlita com áreas de ferrita em contorno de grão, em solo Podzolizado com Cascalho, Perfil P₃, obtém taxa de desgaste de 1,30 g/km, sendo umidade média 14,0%. Estuda também este aço no mesmo tipo de solo porém com dureza superficial de 31 a 35 HRC, tendo estrutura constituída de martensita e bainita revenidas com áreas de ferrita, consegue taxa de desgaste de 1,83 g/km com umidade de 8,0%.

O mecanismo geral da abrasão foi estudado por alguns autores. Entre eles, Avery, citado por BORGHEI (1968), define o desgaste produzido por partículas de solo, em contacto com o metal, como "Abrasão por Arranhamento". Neste processo, o desgaste resulta do atrito pelo contacto das partículas abrasivas do solo com a superfície do metal. As tensões entre os grãos do solo e as asperezas da superfície metálica são muito elevadas e facilmente ultrapassam o limite de escoamento do metal. A deformação plástica daí resultante atinge um determinado volume de metal, que encrua. Conseqüentemente, poderá ocorrer a ruptura da interface entre esta porção encruada e o restante do metal, do que resulta o arrancamento desta parte. Desse modo, o processo de destruição depende da energia cinética, da dureza e angulosidade das partículas abrasivas, da dureza do metal que constitui o órgão ativo e acabamento de sua superfície. A dureza das diversas fases constituintes da estrutura do material também é um fator importante. Entretanto, como bem observam GILL & VANDEN BERG (1967), é difícil desenvolver uma teoria para o mecanismo do processo de abrasão, porque o solo não atua como um sistema rígido. Os esforços entre a superfície do metal e as partículas do solo são complexos e o número de

parâmetros que intervêm no "sistema solo metal", não foram completamente caracterizados e avaliados. Dentre outros parâmetros, estão aquêles relativos à fricção e à adesão. O corte e o arranhamento da superfície metálica indicam que as fôrças dentro de pequenas áreas podem ser consideradas altamente complexas e de magnitudes variadas. Assim, nenhum modelo matemático real representativo do comportamento dessas fôrças foi desenvolvido e ensaios empíricos de desgaste, através de experimentação de campo, são empregados para avaliar a abrasão. Dêste modo apenas relações quantitativas, que resultam numa avaliação particularizada do comportamento do desgaste, sob condições específicas, são desenvolvidas. Enquanto as equações teóricas, que caracterizam o desgaste de forma generalizada, não forem definidas, o mecanismo do desgaste não poderá ser descrito.

Dentre os autores que estudaram abrasão em condições de campo, podemos citar: REED & GORDON (1951) pesquisam a abrasão em grades de disco em Auburn, Ala. Estados Unidos. MOHSENIN et al. (1956) estudam o desgaste por abrasão em arados de aiveca e em cultivador no estado de Michigan, Estados Unidos. KHRUSHCHOV & BABICHEV (1958) pesquisam a abrasão em relhas de arados de aiveca em vários locais da União Soviética. VELIKANOVA (1962) estuda o desgaste abrasivo em cultivador trabalhando a 8 cm de profundidade na União Soviética. BORGHEI (1968) pesquisa a abrasão em dentes de riscador de máquina utilizada para aplicar amônia anidra na região de Seine e Marme, na França. SILVEIRA (1969) estuda o desgaste abrasivo em órgãos ativos de subsolador em Latossolo Vermelho Amarelo, fase Cascalhada, e na série Sertãozinho, no Estado de São Paulo.

Pode-se observar, pela revisão da literatura, que poucos são os trabalhos que se preocupam em estudar a utilização de aços de baixa liga, em relação à abrasão. A influência do teor de carbono e sua associação com os elementos de liga devem ser pesquisadas através de ensaios, em que se mantenham constantes a

estrutura e a dureza, por meio do tratamento térmico. Existe certa divergência entre os autores no que diz respeito à importância da dureza e estrutura na abrasão. A verificação da importância da estrutura dos metais no desgaste por abrasão já foi por nós estudada em trabalho citado nesta revisão. Resta agora verificar o comportamento da dureza, obtida através de variações no tratamento térmico, fixando-se a composição química do material, e usando-se uma estrutura das mais resistentes à abrasão.

Os autores, em geral, não caracterizam os solos através de todas as suas propriedades diretamente relacionadas com a abrasão e não fornecem maiores detalhes sobre os métodos usados para identificar e quantificar estas propriedades.

LECHNER & McCOLLY (1959) e VELIKANOVA (1962) definem o solo apenas por sua estrutura e apresentam valores quanto ao tamanho e quantidade das partículas. NORMAN (1958) estuda isoladamente a influência da dureza dos componentes do solo no desgaste abrasivo. VAL'DMA (1959) ressalta somente a importância das dimensões das partículas do solo no processo abrasivo. Haworth, citado por BORGHEI (1968), atribui importância ao grau de arredondamento das partículas abrasivas, sem levar em consideração outros fatores. Deste modo, observa-se a necessidade de uma perfeita definição de todas as características físicas do solo que exercem influência na abrasão, a fim de permitir um adequado julgamento de suas inter-relações. O teor de umidade é outro fator que também deve ser determinado e relacionado com o desgaste obtido, em vista de sua importância no fenômeno, fato este constatado por vários pesquisadores.

Por outro lado, a quantificação da abrasividade de alguns tipos de solo é da mais alta importância, sobretudo na seleção de materiais resistentes ao desgaste. Ainda, dada a influência das condições operacionais, elas deverão ser precisamente caracterizadas, permitindo o desenvolvimento de estudos

comparativos.

Em face da escassez de conhecimentos a respeito do fenômeno do desgaste por abrasão, ainda não foi conseguido um equacionamento teórico capaz de explicá-lo adequadamente. Um dos caminhos que conduzem ao desejável equacionamento teórico é a realização de experimentos de campo, que possibilitem a quantificação do desgaste abrasivo, o estabelecimento das inter-relações entre os vários fatores que nêle intervêm e a eleição de parâmetros definidores de situações específicas. Sòmente a partir de estudos assim conduzidos, será possível o desenvolvimento de uma teoria sôbre o desgaste de órgãos ativos de máquinas agrícolas que trabalham o solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material e métodos empregados no desenvolvimento deste trabalho abrangem o solo, os órgãos ativos do cultivador e os métodos de ensaio. O solo será caracterizado pelas propriedades de interesse no processo de desgaste por abrasão. Em relação aos órgãos ativos, comumente designados "enxadinhas"^(*) do cultivador, serão apresentadas suas dimensões, forma e composições químicas. Serão caracterizados também os materiais e tratamentos térmicos utilizados no processo de fabricação dos órgãos ativos, suas respectivas durezas e microestruturas. Finalmente, serão apresentados o material e métodos empregados nos ensaios de campo e na análise matemática dos dados obtidos.

(*) Doravante, neste trabalho, os órgãos ativos do cultivador serão designados simplesmente como "enxadinhas".

3.1. SOLO

3.1.1. Características Granulométricas

Os solos utilizados neste trabalho fazem parte de um perfil identificado por KUPPER & GROHMANN (1962) e três perfis identificados por RANZANI et al. (1966 e 1968^(*)). O primeiro pertence ao perfil modal da série Taquaral e faz parte do grande grupo Latossolo Roxo, conforme o SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960), localiza-se na Estação Experimental "Teodoreto de Camargo", Campinas, S.P., e sua análise mecânica é fornecida pela Tabela 1.1. O segundo pertence ao perfil modal da série Sertãozinho, e faz parte do grande grupo Regossol, de acordo com o SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960). Localiza-se no Bairro Sertãozinho, em terrenos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" de Piracicaba, S.P., e sua análise mecânica é fornecida pela Tabela 1.1. O terceiro e quarto perfis são solos pertencentes à unidade de mapeamento Solos Podzolizados com Cascalho, segundo o SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (1960). Localizam-se nos campos experimentais do Centro de Mecânica Agrícola, Jundiaí, S.P., e suas análises mecânicas são fornecidas pela Tabela 1.1. De agora em diante, neste trabalho, o solo Podzolizado com Cascalho Perfil P₃ e o solo Podzolizado com Cascalho Perfil P₄ serão denominados simplesmente Perfil P₃ e P₄, respectivamente.

Uma vez que as enxadinhas do cultivador trabalharam a 5 cm de profundidade, na série Taquaral, estudou-se o horizonte A_{1p} e, na série Sertãozinho, no Perfil P₃ e no Perfil P₄, o horizonte A_p.

Quanto à textura, fornecida pela Tabela 1.1, observa-se

(*) RANZANI et al. Levantamento Pedológico do Centro de Mecânica Agrícola (em andamento).

Tabela 1.1. Análise mecânica da série Taquaral (≡), da série Sertãozinho (≡) e dos Perfis P₃ e P₄.

| S O L O | Pro-fun-didade (cm) | Horizonte | Casca lho (mm) | Análise Mecânica (mm) (%) Pipeta, NaOH | | | | | | Classe | |
|-----------------------|---------------------|------------------|----------------|--|----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------|--------|-----------------|
| | | | | Areia m. grossa (2-1) | Areia grossa (1-0,5) | Areia média (0,5-0,25) | Areia fina (0,25-0,10) | Areia m. fina (0,10-0,05) | Limo (0,05-0,002) | | Argila Textural |
| Série Taquaral | 0-13 | A ₁ P | -- | 0,0 | 4,8 | 8,8 | 10,0 | 3,6 | 37,1 | 35,7 | br |
| Série Sertãozinho | 0-25 | Ap | -- | 0,3 | 9,5 | 12,2 | 47,7 | 13,3 | 1,2 | 15,6 | baf |
| Perfil P ₃ | 0-20 | Ap | 3,5 | 0,4 | 7,1 | 14,0 | 17,0 | 5,0 | 12,5 | 44,0 | r |
| Perfil P ₄ | 0-20 | Ap | 21,0 | 2,5 | 8,4 | 18,4 | 27,8 | 6,5 | 13,8 | 22,6 | bra |

(≡) O levantamento pedológico desta série foi realizado por KUPPER & GROHMANN, porém, a fim de obter homogeneidade nos dados das frações de areia, procedeu-se à análise mecânica no Departamento de Solos e Geologia da "E.S.A.I.Q.", U.S.P.

(≡) Os dados da análise mecânica, no que diz respeito às frações areia, são invertidos em relação à referência bibliográfica. Tal inversão foi sugerida por J.L. Demattê (informação verbal).

que, na profundidade de trabalho das enxadinhas, o Perfil P₃, apesar de ter classe textural argila e uma quantidade de areia total de 43,5%, apresenta cascalho fino da ordem de 3,5%; a série Sertãozinho apresenta areia total da ordem de 83,0%, com predominância de areia fina e não possui cascalho; a série Taquaral tem um teor de limo e argila da ordem de 72,8% e, 27,2% de areia total, não possuindo, entretanto, cascalho; finalmente, o Perfil P₄ possui um teor de areia total da ordem de 63,6% e 21,0% de cascalho.

3.1.2. Análise Mineralógica Fração Grosseira

Para determinar-se a composição mineralógica dos solos, as amostras foram tamisadas no estado úmido (tamis de 0,053 mm), a fim de separar a fração areia e cascalho das frações limo e argila. Removeu-se o ferro livre da fração areia e cascalho, utilizando-se o método ditonito-citrato-bicarbonato de sódio, segundo JACKSON (1965). Em seguida, as amostras foram secas em estufa e peneiradas, separando-se as seguintes classes: 2-20 mm (cascalho fino); 2-1 mm (areia muito grossa); 1-0,5 mm (areia grossa); 0,5-0,25 mm (areia média); 0,25-0,10 mm (areia fina); 0,10-0,05 mm (areia muito fina). Posteriormente, de acordo com BREWER (1964), efetuou-se a contagem dos minerais na moda ou classe dominante dos quatro solos e no cascalho fino, dos Perfis P₃ e P₄. Os dados são apresentados nas Tabelas 1.2 e 1.3.

Portanto, de acordo com as Tabelas 1.2 e 1.3, os solos utilizados neste trabalho apresentam elevada frequência numérica percentual de quartzo, tanto na moda como na fração Cascalho dos solos que o possuem.

Tabela 1.2. Composição Mineralógica da Fração Areia Fina dos Solos Estudados.

| Quartzo + pesados | Opacos | Grãos Contados |
|-----------------------|--------|----------------|
| ----- % ----- | | |
| Série Taquaral | | |
| 84,18 | 15,82 | 1.486 |
| Série Sertãozinho | | |
| 97,39 | 2,61 | 1.112 |
| Perfil P ₃ | | |
| 98,52 | 1,48 | 1.423 |
| Perfil P ₄ | | |
| 98,75 | 1,25 | 1.195 |

Tabela 1.3. Composição Mineralógica do Cascalho Fino dos Perfis P₃ e P₄

| Quartzo | Agregados | Grãos Contados |
|-----------------------|-----------|----------------|
| ----- % ----- | | |
| Perfil P ₃ | | |
| 93,38 | 6,62 | 121 |
| Perfil P ₄ | | |
| 90,25 | 9,75 | 123 |

3.1.3. Determinação da Dureza dos Grãos de Quartzo

As informações obtidas na revisão bibliográfica indicam a necessidade de determinação da dureza do quartzo, principal constituinte dos solos estudados. Efetuou-se essa determinação na fração areia fina, nos quatro solos, e no cascalho fino dos Perfis P₃ e P₄. As amostras, separadas na

análise mineralógica, foram embutidas em corpos de prova. Nestes, após receberem polimento, foi determinada a dureza do quartzo, segundo método descrito por CAMERON (1961), no Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, U.S.P., obtendo-se o valor de 1560 HV 0,2/30.

3.1.4. Determinação do Arredondamento dos Grãos de Quartzo

Uma vez que o desgaste por abrasão depende também da angulosidade das partículas do solo, determinou-se o arredondamento dos grãos de quartzo, presentes na fração areia fina de todos os solos estudados e na fração cascalho fino dos Perfis P₃ e P₄. As amostras oriundas da análise mineralógica foram montadas em lâminas e projetadas com auxílio de um epidiascópio. A partir da projeção, calculou-se o arredondamento nos grãos, ampliados com 7 cm de diâmetro máximo, conforme método de Wadell, citado por SUGUIO (1968), sendo os dados obtidos apresentados na Tabela 1.4.

Tabela 1.4. Valores do Arredondamento dos Grãos de Quartzo dos Solos Estudados.

| Solo | Fração | |
|-----------------------|------------------|-------------|
| | (0,25 - 0,10 mm) | (2 - 20 mm) |
| Série Taquaral | 0,72 | - |
| Série Sertãozinho | 0,46 | - |
| Perfil P ₃ | 0,44 | 0,34 |
| Perfil P ₄ | 0,35 | 0,27 |

Na Tabela 1.4, observamos que as partículas do Perfil P₃, na fração areia fina, são menos arredondadas que as da série Taquaral, seu valor de arredondamento praticamente equivale aos da série Sertãozinho. As partículas da série Taquaral são mais arredondadas que as da série Sertãozinho. Quanto à fração cascalho, os Perfis P₃ e P₄ apresentam valores de arredondamento muito baixos, indicando que êles são bastante angulosos.

3.2. ENXADINHA DO CULTIVADOR

A enxadinha é o órgão ativo do cultivador, máquina destinada à destruição da sementeira de ervas daninhas, através do revolvimento superficial do solo. As peças utilizadas neste trabalho foram obtidas por forjamento e sua configuração obedece às especificações da A.S.A.E. (1955).

As enxadinhas são montadas na extremidade inferior da coluna do cultivador, como indicado por A na Figura 1. Seu formato, dimensões e posição na coluna são mostrados, em planta, na Figura 2.

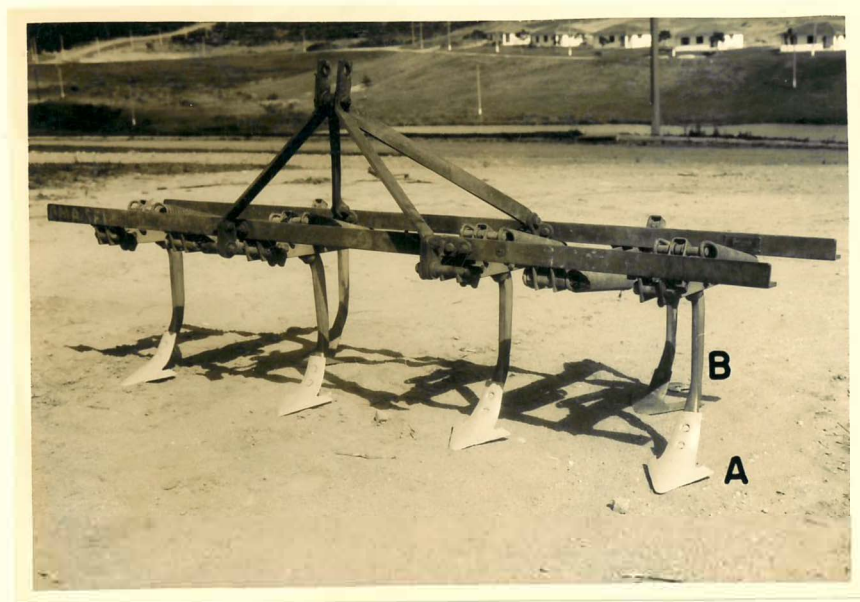


Figura 1. Vista geral do cultivador mostrando a enxadinha (A) e a coluna (B).

Os materiais empregados na construção das enxadinhas foram: aços ABNT 1070, ABNT 5160, ABNT 1041, e ABNT 5119.

Êstes materiais escolhidos para serem usados no presen-

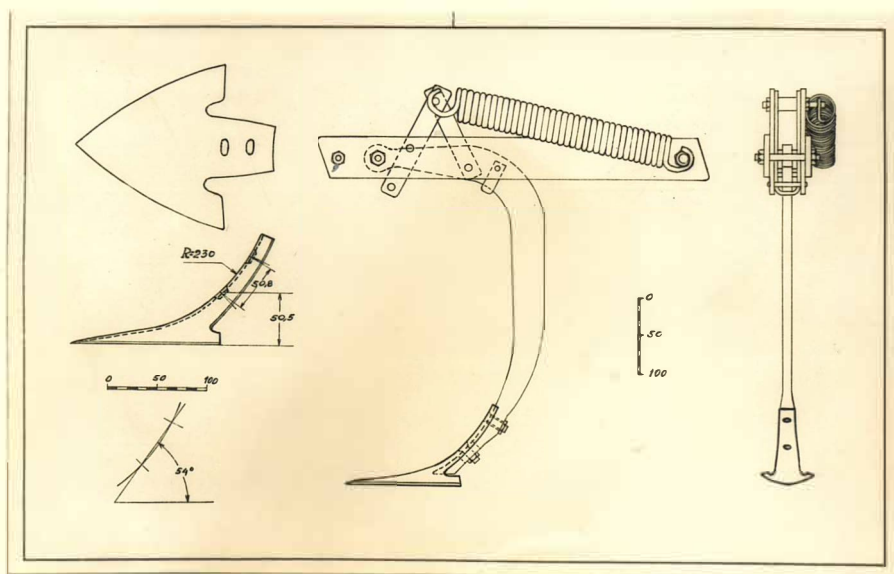


Figura 2. Coluna e enxadinha do cultivador.

te trabalho são caracterizados pelo seu teor de carbono e elementos de liga. Selecionaram-se três composições de aço de baixa liga e uma de aço carbono (1070). O aço 1070 é considerado como referência, por ser usado correntemente pelos fabricantes nacionais, sendo também empregado em um estudo preliminar realizado pelo autor. O 5160 permite obter durezas mais elevadas para mesma espessura, e maior resistência ao impacto a um mesmo nível de dureza quando relacionado com o 1070. O 1041 tem menor teor de carbono do que os outros dois, mas é um aço de temperabilidade elevada. O emprêgo de um aço de baixo teor de carbono, como o 5119, justifica-se, tendo em vista evidenciar a importância do teor de carbono e conseqüentemente, da dureza num material homogêneo, com alta resistência ao impacto, caracterizando, assim, a aplicabilidade de tãda uma família de aços estruturais de baixa liga e baixo teor de carbono. Todos êstes aços, por outro lado, apresentam condições industriais que permitirão o seu uso na fabricação de peças ativas sujeitas à abrasão, utilizadas em máquinas agrícolas.

Os materiais foram analisados e seus elementos determinados pelos seguintes métodos: o carbono, pelo método P-MB-389 da A.B.N.T. (1968); o manganês, cromo, silício, enxôfre e fósforo, pelo método E 30-56 da A.S.T.M. (1968); o manganês, pelo método do Persulfato; o cromo, pelo método de Oxidação do Persulfato; o silício, pelo método do Ácido Sulfúrico; o enxôfre, pelo método de combustão direta, usando-se Iodeto e o fósforo, pelo método alcalimétrico. Os valores médios obtidos são apresentados na Tabela 1.5.

Tabela 1.5. Composição química percentual média dos materiais.

| Material | Elemento (%) | | | | | |
|----------|--------------|------|------|------|-------|-------|
| | C | Mn | Si | Cr | P | S |
| I | 0,56 | 0,89 | 0,33 | 0,84 | 0,034 | 0,035 |
| II | 0,38 | 1,48 | - | - | 0,026 | 0,029 |
| III | 0,18 | 1,31 | 0,31 | 1,10 | 0,024 | 0,035 |
| IV | 0,70 | 0,75 | - | - | 0,025 | 0,038 |

A comparação entre os dados obtidos nas análises e os valores das especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas, através das normas P-NB-82 (1969) e P-NB-81 (1965), permite verificar que o material I é um aço ABNT 5160, o II, um aço ABNT 1041 Classe A, e o III, um aço ABNT D 5119 e o IV, um aço ABNT 1070^(*).

(*) Doravante, neste trabalho, os materiais I, II, III e IV, cujas composições são dadas pela Tabela 1.5 e que correspondem às especificações ABNT 5160, ABNT 1041 Classe A, ABNT D 5119 e ABNT 1070, serão denominados simplesmente como aços: 5160, 1041, 5119 e 1070 respectivamente.

3.3. PREPARO DAS ENXADINHAS

A fim de que se cumprissem as exigências dos planejamentos estatísticos usados nos ensaios de campo, foram fabricadas 37 peças do aço 5160 e 10 peças de cada um dos aços: 1041, 5119 e 1070.

Com o objetivo de se conseguir uma estrutura das mais resistentes à abrasão, tôdas as peças foram tratadas tèrmicamente através de têmpera seguida de revenido. Devido ao processo empregado na sua fabricação, isto é, o forjamento, tôdas as peças, antes de serem temperadas e revenidas, foram normalizadas a 900°C, durante 30 minutos.

Os tratamentos tèrmicos empregados no presente trabalho foram realizados em dois fornos cujas características constam da Tabela 1.6, em atmosfera fortemente redutora. Para isso, introduziram-se em seus interiores, juntamente com as peças a serem tratadas, 500 g de carvão vegetal moído.

Tabela 1.6. Especificações dos Fornos Eléctricos Utilizados.

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Marca | Poliforno |
| Temperatura máxima de operação | 1.200°C |
| Subdivisão da escala de leitura | 10-10°C |
| Voltagem | 220 V |
| Amperagem | 18 A |

As peças tratadas tèrmicamente são caracterizadas pela dureza Rockwell e estrutura micrográfica. A dureza foi determinada na superfície de tôdas as peças tratadas em máquina Wilson, modelo J.R., segundo método E 18-65 da A.S.T.M. (1966). Para cada material e condição de tratamento tèrmico, escolheu-se ao acaso uma peça que foi destruída, com o objetivo de determinar, além da dureza superficial, a dureza no núcleo e a estrutura micrográfica. O estudo microográfico das peças tra-

tadas foi executado segundo método descrito por COLPAERT (1959). A fim de melhor comparar os dados de dureza das peças, com aquêles obtidos nos grãos de quartzo, os valores de dureza Rockwell foram convertidos em valores Vickers, HV 50. Para isso se utilizou a Tabela de KEHL (1949).

Na Tabela 1.7, são encontrados os dados relativos ao número de peças tratadas de cada material, temperatura, duração do aquecimento e meio de resfriamento na têmpera; temperatura e duração do aquecimento no revenido, valores de dureza Rockwell (HRC) e Vickers (HV) na superfície e no núcleo. No revenido, utilizou-se água para o resfriamento de tôdas as peças.

Pela Tabela 1.7, observa-se que não foi possível obter uma dureza de 47 HRC em todos os conjuntos de 10 enxadinhas, porque o aço 5119, devido ao seu baixo teor de carbono, apesar de ser revenido a uma temperatura de 200°C, apresentou uma dureza de 43 HRC, tendo sido empregado em condições de dureza máxima. O estudo micrográfico das amostras de tôdas as peças acima revelou a presença de martensita revenida. Nas Figuras de 3 a 7 são mostradas as estruturas micrográficas dos aços 1041, 5119, 1070, 5160 a 44 HRC e 5160 a 53 HRC respectivamente.

Tabela 1.7. Condições de tratamento térmico, dureza superficial e no núcleo e estrutura metalográfica das peças empregadas no presente trabalho.

| Aço | Nº de Peças | T Ê M P E R A | | R E V E N I D O | | Dureza HRC | | Dureza HV | |
|------|-------------|------------------------------|------|------------------------------|------------|------------|------------|-----------|--|
| | | Temperatura/Tempo (°C) (min) | Meio | Temperatura/Tempo (°C) (min) | Superfície | Núcleo | Superfície | Núcleo | |
| 1041 | 10 | 840/30 | água | 300/60 | 47 | 47 | 471 | 471 | |
| 5119 | 10 | 855/30 | água | 200/60 | 43 | 43 | 423 | 423 | |
| 1070 | 10 | 820/30 | água | 340/60 | 47 | 47 | 471 | 471 | |
| 5160 | 7 | 860/30 | óleo | 460/30 | 44 | 44 | 434 | 434 | |
| | 16 | 860/30 | óleo | 380/60 | 47 | 47 | 471 | 471 | |
| | 7 | 860/30 | óleo | 355/60 | 50 | 50 | 513 | 513 | |
| | 7 | 860/30 | óleo | 300/60 | 53 | 53 | 560 | 560 | |



Figura 3. Aspecto da microestrutura do material II. Aço ABNT 1041 Classe A. Martensita revenida. Estrutura de aço temperado e revenido. Ataque Nital. Aumento 651 X. Ampliação 2 X.



Figura 4. Aspecto da microestrutura do material III. Aço ABNT D 5119. Martensita revenida. Estrutura de aço temperado e revenido. Ataque Nital. Aumento 200 X. Ampliação 5 X.

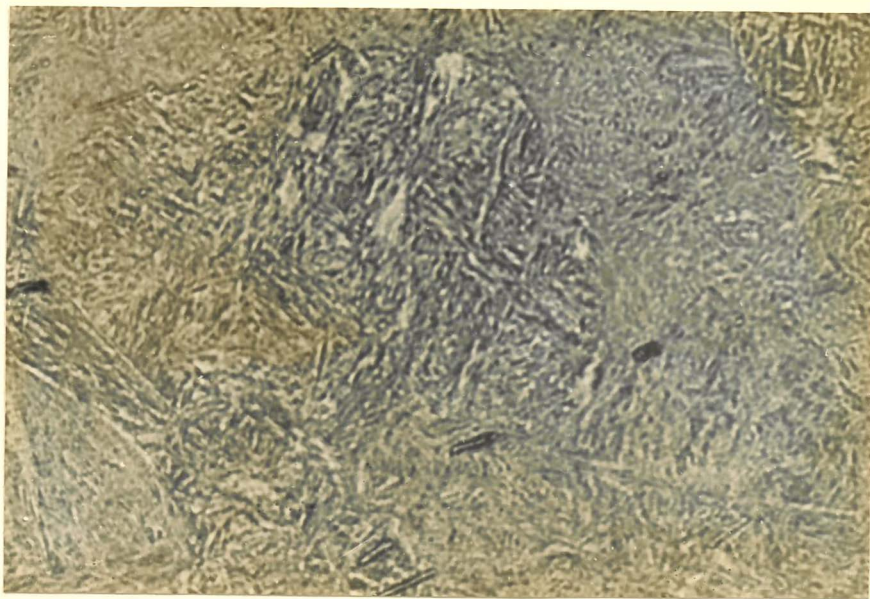


Figura 5. Aspecto da microestrutura do material IV. Aço ABNT 1070. Martensita revenida. Estrutura de aço temperado e revenido. Ataque Nital. Aumento 800 X. Ampliação 5 X.

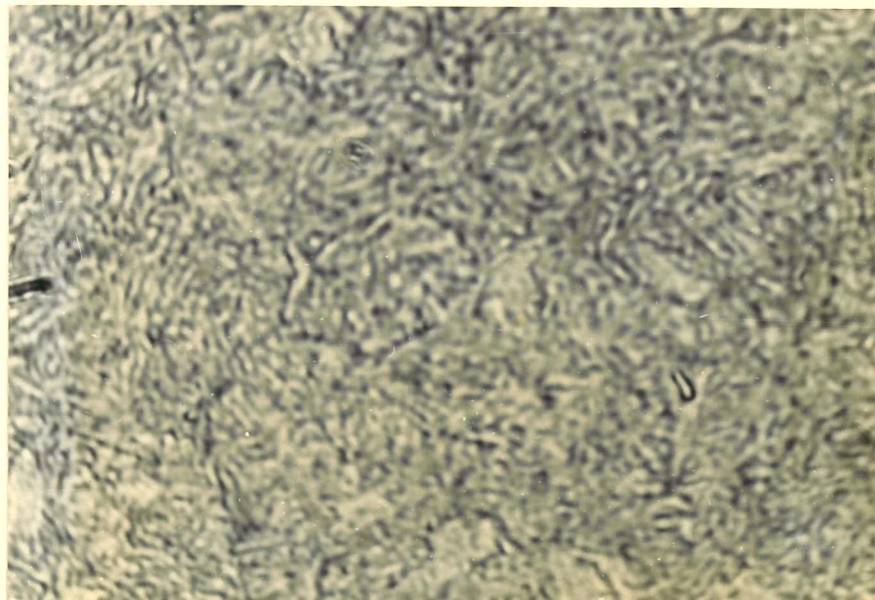


Figura 6. Aspecto da microestrutura do material I. Aço ABNT 5160 tendo dureza 44 HRC Martensita revenida. Estrutura de aço temperado e revenido. Ataque Nital. Aumento 800 X. Ampliação 5 X.

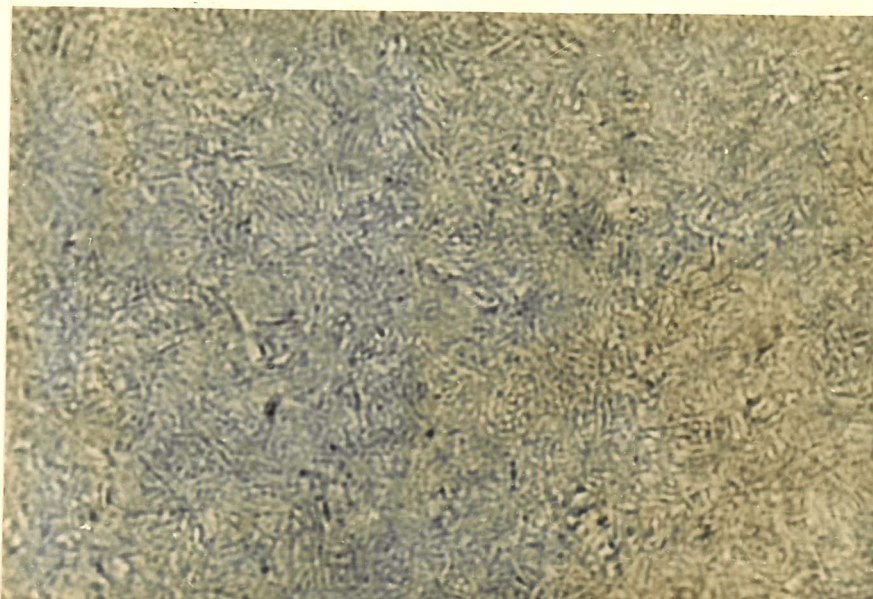


Figura 7. Aspecto da microestrutura do material I. Aço ABNT 5160, tendo dureza 53 HRC. Martensita revenida. Estrutura de aço temperado e revenido. Ataque Nital. Aumento 400 X. Ampliação 5 X.

3.4. ENSAIOS DE CAMPO

Os ensaios de campo podem ser subdivididos em duas etapas. Primeiramente foram ensaiados os aços 1041 a 47 HRC, 5119 a 43 HRC, 1070 a 47 HRC e 5160 a 47 HRC, em solos pertencentes às séries Taquaral e Sertãozinho, e no Perfil P₃. Posteriormente estudou-se o aço 5160 com dureza de 44 HRC, 47 HRC, 50 HRC e 53 HRC, no Perfil P₄.

Nos ensaios de campo, utilizou-se um trator marca Massey Ferguson, modelo 50 X e um cultivador marca Pittsburgh. Das seis colunas do cultivador, somente colocaram-se peças a serem ensaiadas nas quatro frontais. As duas traseiras e suas respectivas enxadinhas foram mantidas, durante todo o ensaio de campo a fim de não prejudicar o equilíbrio do implemento.

Para cada repetição, nas duas etapas dos ensaios de campo, foram observadas as seguintes condições:

- o ensaio correspondeu, em cada repetição, a um dia de trabalho com 5 horas de serviço efetivo;
- o trator trabalhou a 1.500 rpm (3/4 de aceleração) em 3ª marcha reduzida, sendo verificado se a velocidade de deslocamento era mantida constante, cronometrando-se o tempo gasto pela máquina para percorrer uma distância de 100 metros, realizando-se 10 determinações;
- determinou-se a umidade natural retirando-se 12 amostras de solo no fundo do sulco, imediatamente após a passagem da enxadinha, sendo seis no período da manhã e seis no período da tarde;
- a fim de se evitar o efeito de posição no desgaste das enxadinhas, estas eram sorteadas na coluna;
- o cultivador percorreu uma distância de 20,7 km durante as 5 horas efetivas de trabalho, a uma velocidade constante de 4,14 km/h.

Terminado o trabalho efetivo de 5 horas em cada repetição, as enxadinhas eram retiradas da coluna do cultivador, lavadas, secas e pesadas, sendo o desgaste, expresso em percentagem de perda de peso inicial, dado pela seguinte expressão:

$$D = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

onde:

D = Desgaste em percentagem de perda de peso inicial

P_i = Peso inicial da enxadinha

P_f = Peso final

Durante os ensaios de campo, o cultivador trabalhou sempre a 0,05 m de profundidade.

3.4.1. Ensaios na Série Taquaral, Série Sertãozinho e Perfil P₃

Os ensaios foram conduzidos em cultura de

milho (Zea mays, L.) tendo espaçamento entre linhas de 1,00 m, 4 plantas por metro linear e de 15 a 20 cm de altura. As ervas daninhas encontravam-se no estado de sementeira.

O experimento foi Inteiramente Casualizado, em esquema fatorial 4 x 3 (4 material em 3 tipos de solo, sendo 3 blocos em cada solo).:

| Fontes de Variação | G.L. |
|--------------------|------|
| Solo | 2 |
| Bloco dentro solo | 6 |
| Aço | 3 |
| Aço x solo | 6 |
| Resíduo | 18 |
| Total | 35 |

As peças do aço 1041 foram numeradas de 1 a 9, as do aço 5119, de 10 a 18, do aço 1070, de 19 a 27 e do aço 5160, a 47 HRC de 28 a 36. As posições das enxadinhas no cultivador, designadas de I a IV, constam da Tabela 1.8, cuja disposição é orientada da esquerda para a direita com o observador de frente para a parte posterior do trator.

3.4.2. Ensaio no Perfil P₄

Os ensaios foram conduzidos em área do pomar do Centro de Mecânica Agrícola, em Jundiaí, nas seguintes culturas: laranja (Citrus sinensis, L.) com espaçamento de 8 x 6 m, abacate (Persea americana, Mill), com espaçamento de 10 x 8 m, nespereira (Esyobotria japonica), com espaçamento de 6 x 6 m, maçã (Malus, sp) com espaçamento de 7 x 5 m, e Pêra (Pirus communis, L.) com espaçamento de 6 x 6 m. As ervas daninhas encontravam-se em estado de sementeira.

Tabela 1.8. Posição das enxadinhas nas colunas do cultivador.

| S O L O S | Posições no cultivador | | | |
|-----------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| | (I) | (II) | (III) | (IV) |
| Série Taquaral | | | | |
| 1ª Repetição | 5160-32 | 5119-10 | 1041-3 | 1070-19 |
| 2ª Repetição | 1070-27 | 5160-30 | 5119-14 | 1041- 1 |
| 3ª Repetição | 1070-26 | 5160-29 | 1041- 4 | 5119-17 |
| Série Sertãozinho | | | | |
| 1ª Repetição | 1041-2 | 5160-35 | 5119-12 | 1070-21 |
| 2ª Repetição | 1070-23 | 5160-36 | 5119-11 | 1041- 6 |
| 3ª Repetição | 5119-18 | 1041- 5 | 1070-22 | 5160-28 |
| Perfil P ₃ | | | | |
| 1ª Repetição | 1041-7 | 1070-25 | 5160-33 | 5119-16 |
| 2ª Repetição | 1070-20 | 5160-34 | 1041-9 | 5119-15 |
| 3ª Repetição | 5160-31 | 5119-13 | 1070-24 | 1041- 8 |

Observação: A designação das repetições é feita por dois números: o primeiro refere-se ao tipo de aço e o segundo à numeração da enxadinha.

O delineamento do experimento foi Inteiramente Casualizado com 4 tratamentos e 6 repetições:

| Fontes de Variação | G.L. |
|--------------------|------|
| Blocos | 5 |
| Dureza | 3 |
| Resíduo | 15 |
| Total | 23 |

As peças do aço 5160, com dureza 44 HRC, foram numeradas de 1 a 6, com dureza 47 HRC, de 7 a 12, com dureza 50 HRC, de 13 a 18 e, com dureza 53 HRC, de 19 a 24.

As posições das enxadinhas no cultivador, designadas de I a IV, constam da Tabela 1.9, cuja disposição é orientada da esquerda para a direita com o observador de frente para a parte posterior do trator.

3.4.3. Análise dos Resultados

Os dados da Tabela 4.4 referentes aos valores do desgaste no ensaio na série Taquaral, na série Sertãozinho e no Perfil P₃ foram analisados pelo método da Análise da Covariância ajustando-se os dados para uma mesma unidade, de acordo com STEEL & TORRIE (1960).

A análise estatística dos dados obtidos nos ensaios de campo no Perfil P₄, mostrado através da Tabela 4.7, envolve também a correção em relação à unidade, dos dados de desgaste, utilizando-se a análise da covariância, a partir do seguinte modelo matemático:

$$Y_{ij} = m + \beta x + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

m = média
 t_i = efeito do tratamento i
 β = parâmetro da regressão linear
 x = variável concomitante
 $e_{ij} = N(0, \sigma^2)$ aleatório

Onde o efeito de tratamento t_i é representado por t_1 , t_2 , t_3 e t_4 , referindo-se às durezas do aço 5160: 44 HRC, 47 HRC, 50 HRC e 53 HRC, respectivamente.

Na solução, empregou-se o computador Eletrônico IBM 1130 do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", U.S.P.

Tabela 1.9. Posição das enxadinhas nas colunas do cultivador no Perfil P_4 .

| Repetições | Posições no Cultivador | | | |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | (I) | (II) | (III) | (IV) |
| 1 | 44- 3 | 53-21 | 50-18 | 47- 9 |
| 2 | 47- 8 | 44- 2 | 50-17 | 53-20 |
| 3 | 50-15 | 47-11 | 53-19 | 44- 1 |
| 4 | 47- 7 | 50-13 | 53-22 | 44- 4 |
| 5 | 47-12 | 53-24 | 50-16 | 44- 5 |
| 6 | 44- 6 | 50-14 | 53-23 | 47-10 |

Observação: A designação das repetições é feita por dois números: o primeiro refere-se à dureza do aço e o segundo, à numeração da enxadinha.

4. RESULTADOS OBTIDOS

No desenvolvimento do presente trabalho, os resultados obtidos abrangem: os dados de desgaste provenientes dos ensaios de campo na série Taquaral, série Sertãozinho e Perfil P₃, as respectivas taxas de desgastes para os materiais estudados e os valores de dureza das enxadinhas após os ensaios de campo. Também se referem aos dados de desgastes provenientes dos ensaios de campo no Perfil P₄, as taxas de desgaste referentes às diversas durezas das diversas peças após os ensaios de campo.

4.1. RESULTADOS DOS ENSAIOS NA SÉRIE TAQUARAL, SÉRIE SERTÃOZINHO E PERFIL P₃

Os resultados obtidos nos ensaios de desgaste das enxadinhas na série Taquaral, série Sertãozinho e Perfil P₃ são apresentados respectivamente pelas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1. Valores de desgaste das enxadinhas na série Taquaral e respectivos dados referentes à umidade do solo.

| Aços | Re pê ti ção | Nº Pe ça | Pêso Ini- cial (g) | Pêso Final (g) | Dife- rença (g) | Desgaste (%) | Umida- de (%) |
|------|-----------------------|----------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|
| 5160 | 1 | 32 | 619,6 | 618,8 | 0,8 | 0,129 | |
| 1070 | 1 | 19 | 603,0 | 601,5 | 1,5 | 0,248 | 19,8 |
| 1041 | 1 | 3 | 573,5 | 572,2 | 1,3 | 0,226 | |
| 5119 | 1 | 10 | 581,3 | 577,7 | 3,6 | 0,619 | |
| 5160 | 2 | 30 | 612,8 | 612,0 | 0,8 | 0,130 | |
| 1070 | 2 | 27 | 587,3 | 585,5 | 1,8 | 0,306 | 19,5 |
| 1041 | 2 | 1 | 536,0 | 534,2 | 1,8 | 0,335 | |
| 5119 | 2 | 14 | 604,3 | 599,6 | 4,7 | 0,777 | |
| 5160 | 3 | 29 | 614,1 | 613,5 | 0,6 | 0,097 | |
| 1070 | 3 | 26 | 596,3 | 595,3 | 1,0 | 0,167 | 20,9 |
| 1041 | 3 | 4 | 530,6 | 529,6 | 1,0 | 0,188 | |
| 5119 | 3 | 17 | 535,0 | 531,8 | 3,2 | 0,598 | |

Tabela 4.2. Valores de desgaste das enxadinhas na série Sertãozinho e respectivos dados referentes à umidade do solo.

| Aços | Repetição | Nº Peça | Pêso Inicial (g) | Pêso Final (g) | Diferença (g) | Desgaste (%) | Umidade (%) |
|------|-----------|---------|------------------|----------------|---------------|--------------|-------------|
| 5160 | 1 | 35 | 638,4 | 626,4 | 12,0 | 1,879 | 10,8 |
| 1070 | 1 | 21 | 556,4 | 543,6 | 12,8 | 2,300 | |
| 1041 | 1 | 2 | 569,7 | 557,7 | 12,0 | 2,106 | |
| 5119 | 1 | 12 | 519,1 | 499,6 | 19,5 | 3,756 | |
| 5160 | 2 | 36 | 600,3 | 588,7 | 11,6 | 1,932 | 9,5 |
| 1070 | 2 | 23 | 612,7 | 595,8 | 16,9 | 2,758 | |
| 1041 | 2 | 6 | 575,2 | 557,0 | 18,2 | 3,164 | |
| 5119 | 2 | 11 | 552,2 | 530,0 | 22,2 | 4,020 | |
| 5160 | 3 | 28 | 632,2 | 614,3 | 17,9 | 2,830 | 9,0 |
| 1070 | 3 | 22 | 600,3 | 581,3 | 19,0 | 3,165 | |
| 1041 | 3 | 5 | 527,3 | 508,3 | 19,0 | 3,603 | |
| 5119 | 3 | 18 | 539,4 | 512,3 | 27,1 | 5,024 | |

Tabela 4.3. Valores de desgaste das enxadinhas no Perfil P₃ e respectivos dados referentes à umidade do solo.

| Aços | Repetição | Nº Peça | Pêso Inicial (g) | Pêso Final (g) | Diferença (g) | Desgaste (%) | Umidade (%) |
|------|-----------|---------|------------------|----------------|---------------|--------------|-------------|
| 5160 | 1 | 33 | 610,3 | 605,0 | 5,3 | 0,868 | 21,8 |
| 1070 | 1 | 25 | 592,6 | 586,3 | 6,3 | 1,063 | |
| 1041 | 1 | 7 | 549,6 | 540,1 | 9,5 | 1,728 | |
| 5119 | 1 | 16 | 575,0 | 549,0 | 26,0 | 4,521 | |
| 5160 | 2 | 34 | 618,5 | 610,5 | 8,0 | 1,293 | 21,0 |
| 1070 | 2 | 20 | 618,0 | 604,7 | 13,3 | 2,152 | |
| 1041 | 2 | 9 | 546,7 | 533,9 | 12,8 | 2,341 | |
| 5119 | 2 | 15 | 459,5 | 436,3 | 23,2 | 5,048 | |
| 5160 | 3 | 31 | 612,1 | 601,8 | 10,3 | 1,682 | 18,8 |
| 1070 | 3 | 24 | 597,7 | 584,2 | 13,5 | 2,258 | |
| 1041 | 3 | 8 | 506,1 | 480,5 | 25,6 | 5,058 | |
| 5119 | 3 | 13 | 592,0 | 556,2 | 35,8 | 6,047 | |

Na Tabela 4.4, encontramos os dados de desgaste dos quatro materiais estudados, nos três tipos de solo e respectivas umidades naturais.

Tabela 4.4. Valores de desgaste para os aços 5160 a 47 HRC, 1041 e 5119 nos solos pertencentes à série Taquaral, série Sertãozinho e Perfil P₃ e respectivas umidades naturais.

| S O L O S | A Ç O S | | | | Umidade (%) |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------------|
| | 5160 | 1070 | 1041 | 5119 | |
| Série | 0,129 | 0,248 | 0,226 | 0,619 | 19,8 |
| Taquaral | 0,130 | 0,306 | 0,335 | 0,777 | 19,5 |
| | 0,097 | 0,167 | 0,188 | 0,598 | 20,9 |
| Série | 1,879 | 2,300 | 2,106 | 3,756 | 10,8 |
| Sertãozinho | 1,932 | 2,758 | 3,164 | 4,020 | 9,5 |
| | 2,830 | 3,165 | 3,603 | 5,024 | 9,0 |
| Perfil | 0,868 | 1,063 | 1,728 | 4,521 | 21,8 |
| P ₃ | 1,293 | 2,152 | 2,341 | 5,048 | 21,0 |
| | 1,682 | 2,258 | 5,058 | 6,047 | 18,8 |

As taxas de desgaste e os valores de dureza HRC na superfície das enxadinhas, após os ensaios de campo, são apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Valores médios das taxas de desgaste observadas nos três solos estudados. Durezas das enxadinhas após os ensaios de campo.

| Nº das Peças | Aços | Durezas | | Solos | | |
|-----------------|------|----------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | Valôres HRC | Valôres HV | Série Taqua ral (g/km) | Série Sertão zinho (g/km) | Perfil P ₃ (g/km) |
| 28 a 36 | 5160 | 47 | 471 | 0,035 | 0,66 | 0,38 |
| 19 a 27 | 1070 | 47 | 471 | 0,069 | 0,78 | 0,53 |
| 1 a 9 | 1041 | 47 | 471 | 0,065 | 0,79 | 0,76 |
| 10 a 18 | 5119 | 43 | 423 | 0,180 | 1,10 | 1,36 |

4.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS NO PERFIL P₄

Os resultados obtidos nos ensaios de campo das enxadinhas no Perfil P₄ são apresentados nas Tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6. Valores do desgaste das enxadinhas construídas com aço 5160 a 44 HRC, 47 HRC, 50 HRC e 53 HRC, nº da peça, peso e umidade do solo.

| Aços 5160 dureza HRC antes dos ensaios de campo | Repe- ti- ção | Nº Pe- ça | Pêso Ini- cial (g) | Pêso Final (g) | Dife- rença (g) | Desgas- te (%) | Umi- dade (%) |
|---|---------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| 44 | 1 | 3 | 637,5 | 597,2 | 40,3 | 6,321 | 20,30 |
| 47 | 1 | 9 | 619,5 | 602,0 | 17,5 | 2,824 | |
| 50 | 1 | 18 | 583,3 | 566,6 | 16,7 | 2,863 | |
| 53 | 1 | 21 | 613,3 | 606,2 | 7,1 | 1,157 | |
| 44 | 2 | 2 | 608,8 | 553,2 | 55,6 | 9,132 | 17,85 |
| 47 | 2 | 8 | 506,5 | 461,8 | 44,7 | 8,825 | |
| 50 | 2 | 17 | 543,8 | 503,5 | 40,3 | 7,410 | |
| 53 | 2 | 20 | 608,8 | 567,4 | 41,4 | 6,800 | |
| 44 | 3 | 1 | 569,1 | 522,2 | 46,9 | 8,981 | 18,63 |
| 47 | 3 | 11 | 589,3 | 545,2 | 44,1 | 7,483 | |
| 50 | 3 | 15 | 479,2 | 445,7 | 33,5 | 6,990 | |
| 53 | 3 | 19 | 507,3 | 473,4 | 33,9 | 6,682 | |
| 44 | 4 | 4 | 531,4 | 452,4 | 79,0 | 14,866 | 16,15 |
| 47 | 4 | 7 | 534,3 | 462,0 | 72,3 | 13,531 | |
| 50 | 4 | 13 | 503,5 | 448,9 | 54,6 | 10,844 | |
| 53 | 4 | 22 | 606,2 | 545,2 | 61,0 | 10,062 | |
| 44 | 5 | 5 | 597,7 | 555,8 | 39,2 | 6,558 | 20,00 |
| 47 | 5 | 12 | 601,7 | 577,2 | 24,5 | 4,071 | |
| 50 | 5 | 16 | 566,9 | 549,5 | 17,4 | 3,069 | |
| 53 | 5 | 24 | 530,8 | 518,8 | 12,0 | 2,260 | |
| 44 | 6 | 6 | 573,1 | 534,2 | 38,9 | 6,787 | 19,80 |
| 47 | 6 | 10 | 590,5 | 562,8 | 27,7 | 4,690 | |
| 50 | 6 | 14 | 445,7 | 429,0 | 16,7 | 3,746 | |
| 53 | 6 | 23 | 473,2 | 459,2 | 13,9 | 2,937 | |

Tabela 4.7. Valores do desgaste e teores de umidade do solo, observados em enxadinhas construídas com aço 5160 em diferentes durezas HRC. Desgastes e umidade média.

| | Desgaste observado | | | | Umidade (%) |
|--------|--------------------|--------|--------|--------|-------------|
| | 44 HRC | 47 HRC | 50 HRC | 53 HRC | |
| | 6,321 | 2,824 | 2,863 | 1,157 | 20,30 |
| | 9,132 | 8,825 | 7,410 | 6,800 | 17,85 |
| | 8,981 | 7,483 | 6,990 | 6,682 | 18,63 |
| | 14,866 | 13,531 | 10,844 | 10,062 | 16,15 |
| | 6,558 | 4,071 | 3,069 | 2,260 | 20,00 |
| | 6,787 | 4,690 | 3,746 | 2,937 | 19,80 |
| Médias | 8,774 | 6,904 | 5,820 | 4,983 | 18,78 |

As taxas de desgaste observadas e os valores de dureza HRC, na superfície das enxadinhas, após os ensaios de campo, são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8. Valores médios das taxas de desgaste observadas no Perfil P₄. Durezas das enxadinhas após os ensaios de campo.

| Nº das Peças | Taxa de desgaste g/km | Durezas do aço 5160 | | |
|--------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----|
| | | Antes dos Ensaios HRC | Após os Ensaios HRC | HV |
| 1 a 6 | 2,41 | 44 | 44 | 434 |
| 7 a 12 | 1,85 | 47 | 47 | 471 |
| 13 a 18 | 1,44 | 50 | 50 | 513 |
| 19 a 24 | 1,36 | 53 | 53 | 560 |

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Levando-se em consideração os ensaios realizados e os objetivos dêste trabalho, neste capítulo, primeiramente trataremos do ensaio realizado na série Taquaral, série Sertãozinho e solo Podzolizado com Cascalho Perfil P₃ e, posteriormente, no Perfil P₄.

5.1. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS NA SÉRIE TAQUARAL, SÉRIE SERTÃOZINHO E PERFIL P₃

Com o objetivo de facilitar a análise, os dados da Tabela 4.4 foram desdobrados e são apresentados na Tabela 5.1.

Através da Tabela 5.2, procedeu-se à Análise de Cova-

Tabela 5.1. Dados de desgaste (Y) e respectiva percentagem de umidade do solo (X) para os açoes 5160 à 47 HRC, 1070, 1041, Classe A e 5119, nos solos pertencentes à série Taquaral, série Sertãozinho e Perfil P₃.

| S O L O S | 5160 | | 1070 | | 1041 | | 5119 | | TOTAIS | | Médias dos solos |
|-----------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|------|------------------|
| | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y | X | |
| Série Taquaral | 0,129 | 19,8 | 0,248 | 19,8 | 0,226 | 19,8 | 0,619 | 19,8 | 1,222 | 79,2 | |
| | 0,130 | 19,5 | 0,306 | 19,5 | 0,335 | 19,5 | 0,777 | 19,5 | 1,548 | 78,0 | |
| | 0,097 | 20,9 | 0,167 | 20,9 | 0,188 | 20,9 | 0,598 | 20,9 | 1,050 | 83,6 | |
| MÉDIA | 0,118 | | 0,240 | | 0,249 | | 0,664 | | | | 0,318 |
| Série Sertãozinho | 1,879 | 10,8 | 2,300 | 10,8 | 2,106 | 10,8 | 3,756 | 10,8 | 10,041 | 43,2 | |
| | 1,932 | 9,5 | 2,758 | 9,5 | 3,164 | 9,5 | 4,020 | 9,5 | 11,874 | 38,0 | |
| | 2,830 | 9,0 | 3,165 | 9,0 | 3,603 | 9,0 | 5,024 | 9,0 | 14,622 | 36,0 | |
| MÉDIA | 2,213 | | 2,741 | | 2,957 | | 4,266 | | | | 3,045 |
| Perfil P ₃ | 0,868 | 21,8 | 1,063 | 21,8 | 1,728 | 21,8 | 4,521 | 21,8 | 8,180 | 87,2 | |
| | 1,293 | 21,0 | 2,152 | 21,0 | 2,341 | 21,0 | 5,048 | 21,0 | 10,834 | 84,0 | |
| | 1,682 | 18,8 | 2,258 | 18,8 | 5,058 | 18,8 | 6,047 | 18,8 | 15,045 | 75,2 | |
| MÉDIA | 1,281 | | 1,824 | | 3,042 | | 5,025 | | | | 2,838 |
| MÉDIA GERAL | 1,204 | | 1,602 | | 2,083 | | 3,379 | | | | 3,045 |

Tabela 5.2. Análise da Covariância dos dados de desgaste.

| Fontes de Variação | G.L. | Soma dos produtos | | | | G.L. | S. Q. | Q.M. |
|--------------------------------------|------|-------------------|-------------|------------|----|-----------|-------|-----------|
| | | x^2 | $x \cdot y$ | y^2 | | | | |
| Total | 35 | 919,48 | -131,5076 | 101,716802 | | | | |
| Solo | 2 | 888,92 | -116,5178 | 55,303881 | | | | |
| Bloco dentro de solo | 6 | 30,56 | -14,9898 | 8,682106 | | | | 13,416408 |
| Aços | 3 | 0,00 | 0,0000 | 24,134814 | | | | |
| Aços x Solos | 6 | 0,00 | 0,0000 | 0,536694 | | | | |
| Resíduo | 18 | 0,00 | 0,0000 | 13,059307 | 17 | 13,059307 | | 0,768195 |
| Solo + Resíduo | 20 | 888,92 | -116,5178 | 68,363188 | 19 | 53,090275 | | |
| Dif. Solo ajuste unidade | | | | | 2 | 40,030968 | | 20,015484 |
| Aço + Resíduo | 21 | 0,00 | 0,0000 | 37,194121 | 20 | 37,194121 | | |
| Diferença Aço | | | | | 3 | 24,134814 | | 8,044938 |
| Aço x Solo + res. | 24 | 0,00 | 0,0000 | 13,596001 | 23 | 13,596001 | | |
| Dif. Aço x Solo | | | | | 6 | 0,536694 | | 0,089449 |
| Bloco d. Solo + Res. | 24 | 30,56 | -14,9898 | 21,741413 | 23 | 14,388857 | | |
| Dif. Bloco d. Solo ajuste da unidade | | | | | 6 | 1,329550 | | 0,221592 |

OBS.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicado por um (#) e dois (***) asterísticos.

riância dos dados da Tabela 5.1, efetuando-se a correção relativa à umidade.

Conforme se observa na Tabela 5.2, houve um efeito significativo de solos, com umidade ajustada, e diferença de aço, indicando que os solos produziram desgastes diferentes e que os aços se desgastaram diferentemente.

A verificação de como os aços se comportaram entre si foi feita procurando-se observar se os dados seguem uma regressão linear, desdobrando-se a Análise de Covariância no que diz respeito a aços, o que é mostrado na Tabela 5.3. A seguinte convenção foi adotada: $a_1 =$ aço 5160 a 47 HRC, $a_2 =$ 1070, $a_3 =$ 1041 e $a_4 =$ 5119.

Tabela 5.3. Desdobramento da Análise de Covariância no que diz respeito a aços.

| Fontes de Variação | G.L. | S.Q. | F |
|-------------------------------|------|-----------|------------|
| Aço | 3 | 24,134814 | |
| $(a_1 + a_2 + a_3)$ vs. a_4 | 1 | 20,649131 | 26,88 (**) |
| Regressão (a_1, a_2, a_3) | 1 | 3,475126 | 4,52 (**) |
| Desvio da Regressão | 1 | 0,010557 | n.s. |

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asterísticos.

Pelos dados da Tabela 5.2, pode-se notar que o aço a_4 difere dos demais e que há uma tendência linear positiva entre a_1 , a_2 e a_3 no que diz respeito ao desgaste. Dêsse modo, observa-se que o aço que menos se desgastou foi o 5160 a 47 HRC e o que mais se desgastou foi o 5119. O aço 1070 se desgastou mais que o 5160 e menos que o 1041. O 1041 se desgastou mais que o 1070 e menos que o 5119. Com base na média dos valores de desgaste observados, apresentados na Tabela 5.1, construiu-se o histograma mostrado na Figura 8.

O ajuste dos dados de desgaste dos aços para uma mesma umidade foi realizado empregando-se o seguinte modelo

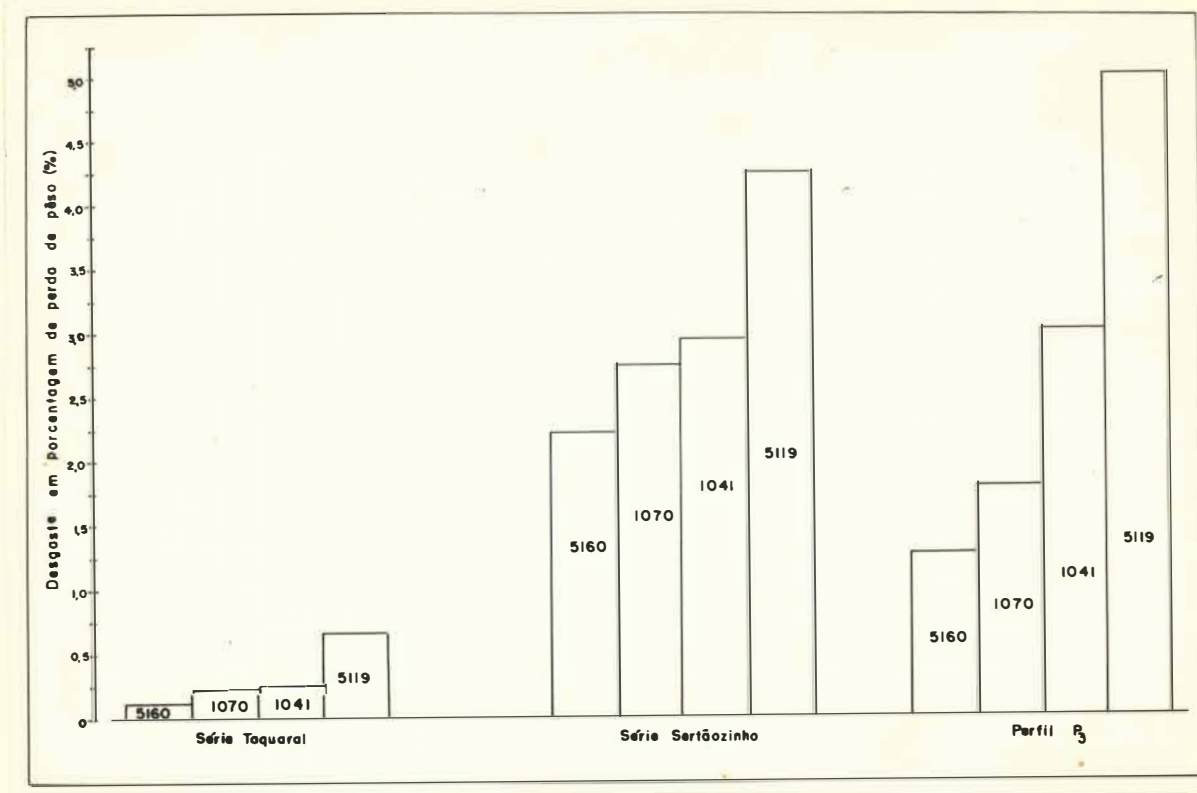


Figura 8. Valores observados do desgaste médio dos aços ABNT 5160, ABNT 1070, ABNT 1041 Classe A e ABNT D 5119, nas séries Taquaral, Sertãozinho e no Perfil P₃.

proposto por STEEL & TORRIE (1960):

$$\hat{y} = \bar{y} - \hat{b} (x - \bar{x})$$

onde:

\hat{y} = valor do desgaste esperado

\bar{y} = desgaste médio do aço em um tipo de solo

\hat{b} = coeficiente angular da reta

x = unidade média do solo no ensaio de um tipo de aço

\bar{x} = unidade média geral do ensaio

Para a série Taquaral:

Aço 5160:

$$\hat{y}_2 = 0,118 - (-0,131)(20,70 - 16,79) = 0,548 \quad (2)$$

Aço 1070:

$$\hat{y}_3 = 0,240 - (-0,131)(20,70 - 16,79) = 0,670 \quad (3)$$

Aço 1041:

$$\hat{y}_4 = 0,249 - (-0,131)(20,70 - 16,79) = 0,679 \quad (4)$$

Aço 5119:

$$\hat{y}_5 = 0,664 - (-0,131)(20,70 - 16,79) = 1,094 \quad (5)$$

Para a série Sertãozinho:

Aço 5160:

$$\hat{y}_6 = 2,213 - (-0,131)(9,77 - 16,79) = 1,293 \quad (6)$$

Aço 1070:

$$\hat{y}_7 = 2,741 - (-0,131)(9,77 - 16,79) = 1,821 \quad (7)$$

Aço 1041:

$$\hat{y}_8 = 2,957 - (-0,131)(9,77 - 16,79) = 2,037 \quad (8)$$

Aço 5119:

$$\hat{y}_9 = 4,266 - (-0,131)(9,77 - 16,79) = 3,346 \quad (9)$$

Para o Perfil P₃:

Aço 5160:

$$\hat{y}_{10} = 1,281 - (-0,131)(20,53 - 16,79) = 1,771 \quad (10)$$

Aço 1070:

$$\hat{y}_{11} = 1,824 - (-0,131)(20,53 - 16,79) = 2,314 \quad (11)$$

Aço 1041:

$$\hat{y}_{12} = 3,042 - (-0,131)(20,53 - 16,79) = 3,532 \quad (12)$$

Aço 5119:

$$\hat{y}_{13} = 5,205 - (-0,131)(20,53 - 16,79) = 5,695 \quad (13)$$

De posse dos valores obtidos nas equações de (2) a

(13), construiu-se o histograma mostrado na Figura 9.

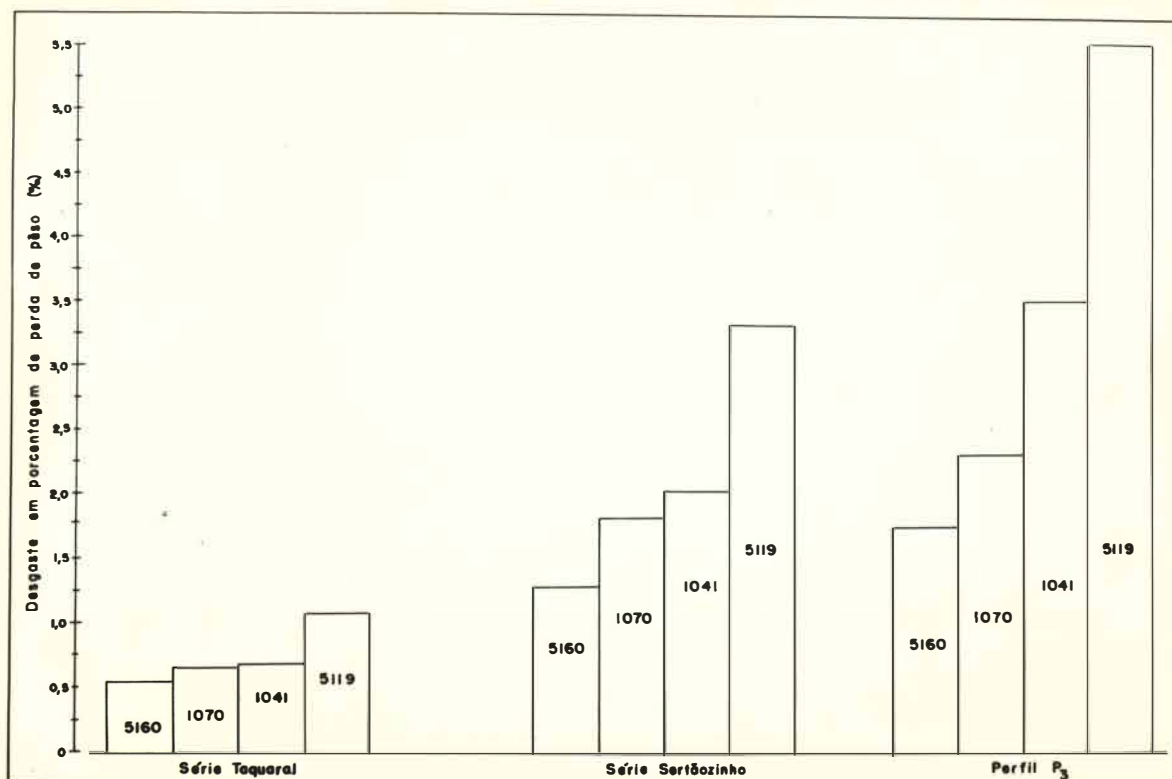


Figura 9. Valores de desgaste corrigidos dos aços ABNT 5160, ABNT 1070, ABNT 1041 Classe A e ABNT D 5119, nas séries Taquaral, Sertãozinho e no Perfil P₃, obtidos a partir das equações de (2) a (13).

A verificação de qual solo produziu maior desgaste nas peças ativas, levando-se em conta a correção da umidade, é feita pelo seguinte modelo:

$$\hat{y} = \bar{y} - \hat{b} (x - \bar{x})$$

no qual:

\hat{y} = valor do desgaste esperado

\bar{y} = desgaste médio do solo
 \hat{b} = coeficiente angular da reta
 x = umidade média no solo estudado
 \bar{x} = umidade média geral no ensaio

Para a série Taquaral:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{14} &= 0,318 - (-0,131)(20,07 - 16,79) \\ \hat{y}_{14} &= 0,318 + 0,430 = 0,748\end{aligned}\quad (14)$$

Para a série Sertãozinho:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{15} &= 3,045 - (-0,131)(9,77 - 16,79) \\ \hat{y}_{15} &= 3,045 - 0,920 = 2,125\end{aligned}\quad (15)$$

Para o Perfil P₃:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{16} &= 2,838 - (-0,131)(20,53 - 16,79) \\ \hat{y}_{16} &= 2,838 + 0,490 = 3,328\end{aligned}\quad (16)$$

A diferença mínima significativa (Δ de Tuckey a 5%) para solos, é de 0,914, indicando que os solos produziram desgastes diferentes.

O Perfil P₃ foi o que produziu maior desgaste, enquanto que o solo pertencente à série Taquaral foi o que produziu menor desgaste. O solo pertencente à série Sertãozinho produziu maior desgaste que a série Taquaral, porém, menos desgaste que o Perfil P₃. Levando-se em consideração as médias de desgaste observado em cada solo, apresentados na Tabela 5.1, e as equações (14), (15) e (16), construiu-se o histograma mostrado na Figura 10.

Pela análise dos resultados, verifica-se em primeiro lugar, que o aço 5119 apresentou maior desgaste que os demais. Isto seria de se esperar, uma vez que o valor de sua dureza, 43 HRC, é inferior aos outros materiais estudados. Por outro lado, esta dureza é máxima, estabelecendo, assim, um limite pa-

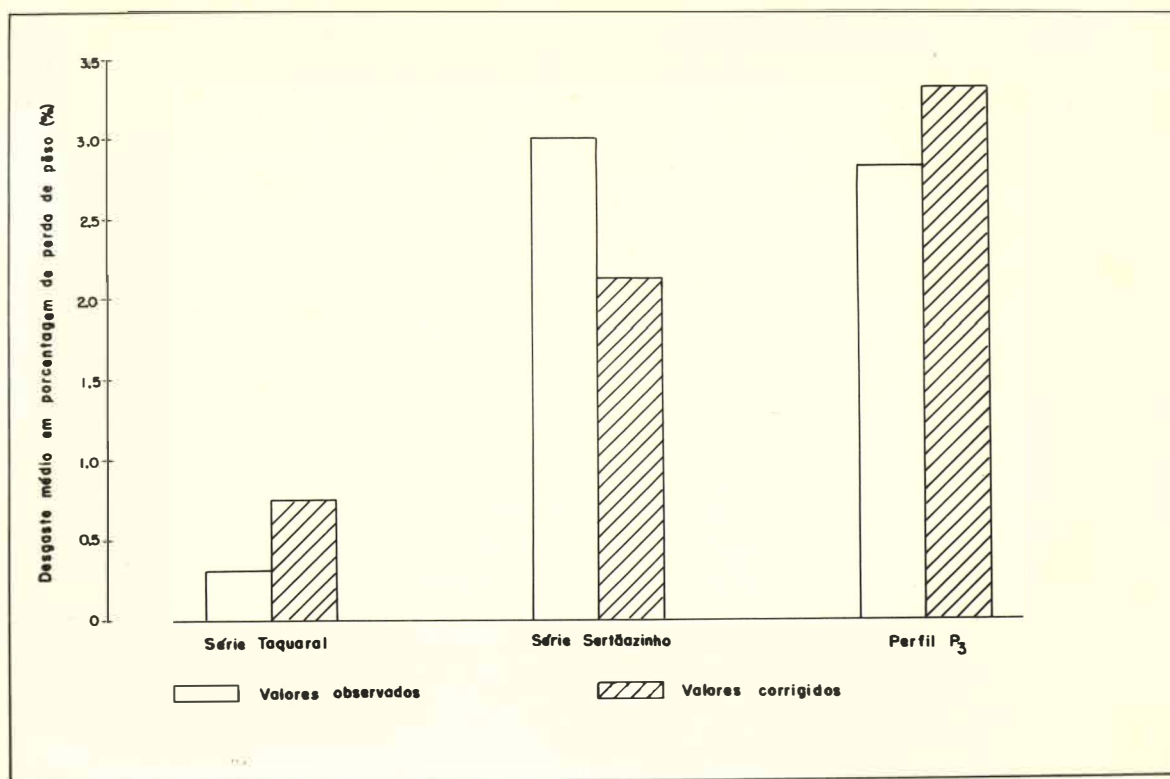


Figura 10. Desgaste produzido pelas séries Taquaral, Sertãozinho e Perfil P₃. Valores observados e corrigidos, baseados nas equações (14), (15) e (16).

ra a aplicabilidade deste material nos solos em que foi estudado. Deste modo, o melhor comportamento obtido com a maior dureza conseguida com este aço é indiscutivelmente inferior aos demais, incluindo o 1070.

Os aços 5160, 1070 e 1041, devido às suas composições químicas e tratamentos térmicos, forneceram estruturas uniformes de martensita revenida, sem presença de carbonetos livres. Os únicos carbonetos existentes na microestrutura eram extremamente finos e resultaram dos processos de revenido. Portanto, a dureza Rockwell é a propriedade significativa para a caracterização desses materiais, uma vez que a matriz é homogênea. Deste modo, a não existência de carbonetos livres, cujo compor-

tamento se distingue da matriz, concorreu para semelhança das estruturas obtidas nos três aços e suas propriedades, exceto a resistência ao impacto, conforme explicado por ROTHERY (1968). Nessas condições, era de se esperar um comportamento semelhante entre os aços quanto ao desgaste por abrasão. Porém, na análise dos resultados, os aços apresentaram a seguinte seqüência, quanto ao desgaste: $5160 < 1070 < 1041$. Verifica-se, portanto, que o comportamento desses materiais, com relação ao desgaste, se apresenta na seqüência de suas temperabilidades, independentemente da natureza específica dos elementos de liga presentes. Tal comportamento parece estar também relacionado com a seqüência das temperaturas de revenido dos materiais, isto é, $380^{\circ}\text{C} (5160) > 340^{\circ}\text{C} (1070) > 300^{\circ}\text{C} (1041)$ e, em conseqüência, das correspondentes resistências ao impacto, de acordo com ROTHERY (1968). Evidencia-se, assim, a importância relativa do teor de carbono e da temperabilidade, associada a elementos de liga, na resistência ao desgaste. A resistência ao impacto, por sua vez, constitui fator limitante no projeto, uma vez que as peças podem trabalhar até um limite de dureza máxima permitível, devido à natureza dos choques a que as enxadinhas são submetidas. O aço 1070 apresentou-se, nas condições experimentais, em seu limite máximo de dureza - 47 HRC -, valor este determinado preliminarmente. O 5160, por ter maior temperabilidade, permitiu a obtenção de durezas mais elevadas, até 53 HRC, através de revenido a 300°C , nos ensaios realizados no Perfil P₄.

Os resultados obtidos neste trabalho, até certo ponto, estão em desacôrdo com aqueles de REED & McCREERY (1954). Segundo êstes autôres, o aço SAE 6160 desgastou-se mais que o SAE 1080, enquanto que, no presente trabalho, o aço ABNT 5160 se desgastou menos que o ABNT 1070. Os resultados desses autôres, que trabalharam com discos de arado, talvez possam ser explicados pelo local em que o desgaste foi determinado: - no chanfro do disco - devido à pequena espessura deste, tal fato

torna sem importância a grande temperabilidade do aço SAE 6160. O SAE 1080 teria maior resistência ao desgaste, devido a seu maior teor de carbono. Mesmo nessas condições, poder-se-ia prever incidência de quebra com o 1080. Nas condições do presente trabalho, tanto a espessura das enxadinhas, como a diferença de temperabilidade entre o 5160 e o 1070, foram tais que justificaram os resultados obtidos.

Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com os de SILVEIRA (1969), que estudou bicos de subsolador cuja espessura é bem maior que a das enxadinhas do cultivador, verifica-se que, no presente trabalho, a uniformidade das peças foi maior e a taxa de desgaste menor. Este fato destacou também a importância da temperabilidade com relação às dimensões das peças a serem estudadas.

Com relação a solos, procurou-se, no presente trabalho, caracterizá-los através de suas propriedades relacionadas com o desgaste por abrasão. A diferença de comportamento entre os vários tipos de solos pode ser explicada através das características apresentadas e que são confirmadas pelas indicações fornecidas na revisão bibliográfica.

O Perfil P₃ produziu maior desgaste do que os outros dois solos estudados. Observa-se que o teor de areia total desse solo é elevado (43,5%). Considerando-se apenas o teor de areia como o único responsável pelo desgaste do material, não seria possível explicar o maior desgaste produzido pelo Perfil P₃. Isto porque a série Sertãozinho apresenta 83,0% e, portanto, deveria produzir os maiores valores para o desgaste nas enxadinhas. O Perfil P₃, possuindo 3,5% de cascalho fino (partículas entre 2 e 20 mm), constitui uma possível explicação dos resultados obtidos. Isso, inclusive, confirma as indicações de VAL'DMA (1959) e Burwel citado por BORGHEI (1968), que relatam a influência das dimensões dos grãos abrasivos. Por outro lado, através dos dados da composição mineralógica cons-

tantes da Tabela 1.2 e do arredondamento dos grãos de quartzo da Tabela 1.4, observa-se que o Perfil P₃ possui maior frequência numérica percentual de quartzo, com um baixo valor de arredondamento. Estes dois fatores também exerceram influência nos resultados obtidos, confirmando as afirmações de BORGHEI (1968) e da Haworth e Khrustchov e Babichev, citados por BORGHEI (1968). Ainda, quanto ao cascalho fino, deve-se notar, pelas Tabelas 1.3 e 1.4, a sua elevada frequência numérica percentual de quartzo, além de seu baixo valor de arredondamento.

A série Taquaral foi a que produziu menor desgaste. Este solo não tem cascalho e, quanto à textura, seu teor de limo e argila é da ordem de 72,8%. Possui também, a menor frequência numérica percentual de quartzo, com partículas mais arredondadas que os outros dois solos. Assim, a associação de todos esses fatores parece ter concorrido para que o desgaste produzido por este solo fôsse menor.

A série Sertãozinho produziu maior desgaste que a série Taquaral e menor desgaste que o Perfil P₃. Este solo não possui cascalho e tem 83,0% de areia total, sendo a frequência numérica percentual de quartzo e o arredondamento Tabelas 1.2 e 1.4 valores intermediários aos outros dois solos estudados.

No que diz respeito à umidade, esta apresenta uma relação negativa e uma proporcionalidade linear, conforme SILVEIRA et al. (1970). Devido a tal fato, nas análises da covariância dos ensaios de campo, procedeu-se a uma correção relativa à umidade.

Os valores das taxas de desgaste observadas, apresentadas na Tabela 4.5, não foram elevados, se compararmos com os de BORGHEI (1968) e SILVEIRA (1969). Ao compararmos os valores de taxa de desgaste, devemos levar em consideração que BORGHEI (1968) não especifica o solo em que trabalhou nem o seu teor de umidade. Por outro lado, considerando-se o aço

ABNT 1070, estudado preliminarmente por SILVEIRA (1970), em solo Podzolizado com Cascalho Perfil P₃, notaremos que, no presente trabalho, apesar de o teor de umidade ter variado entre 18,8% e 21,8%, a taxa de desgaste foi da ordem de 2,6 a 3,4 vezes menor. Isto significa que, se os fabricantes nacionais melhorassem as condições de tempera e revenido, haveria uma possível redução nas taxas de desgaste.

5.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS NO PERFIL P₄

Os dados da Tabela 4.7 foram submetidos à Análise da Covariância, sendo os valores apresentados na Tabela 5.4, efetuando-se a correção relativa à umidade.

Tabela 5.4. Análise da Covariância dos dados de desgaste no Perfil P₄

| Fontes de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. |
|------------------------------------|------|-----------|---------------------------|
| S.Q. (t) | 3 | 48,241957 | 16,080652 ^(**) |
| S.Q. Resíduo (ajuste % umidade) | 19 | 9,464756 | 0,498145 |

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asterísticos.

Sendo significativo o valor de F, quer dizer que os aços com diferentes durezas diferem entre si.

Por outro lado, há interesse também de verificarmos se os dados obtidos seguem uma regressão linear ou quadrática, procedendo-se da seguinte maneira:

A soma de quadrados da regressão linear é dada por:

$$SQ_{RL} = \frac{(-3T_1 - T_2 + T_3 + 3T_4)^2}{20 \times 6} = \frac{(-74,7430)^2}{120} = 46,554300$$

A soma de quadrados da regressão quadrática é dada por:

$$SQ_{RQ} = \frac{(T_1 - T_2 - T_3 + T_4)^2}{4 \times 6} = \frac{(6,197)^2}{24} = 1,600117$$

A soma de quadrados de desvios é dada por:

$$SQ_D = \frac{(-T_1 - 3T_2 - 3T_3 + T_4)^2}{120} = \frac{(-3,241)^2}{120} = 0,087534$$

Abaixo temos a Análise da Variância dos dados acima obtidos:

| Fontes de Variação | G.L. | S.Q. | Q.M. |
|--------------------|------|-----------|----------------|
| R. Linear | 1 | 46,554300 | 46,554300 (**) |
| R. Quadrática | 1 | 1,600117 | 1,600117 |
| Desvios | 1 | 0,087540 | 0,087540 |
| Resíduo | 1 | 9,464756 | 0,498145 |

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade para o teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Sendo significativo F, os dados deste ensaio, seguem uma regressão linear e as peças do aço 5160, com dureza variando de 44 HRC, 47 HRC, 50 HRC e 53 HRC, apresentando médias de desgaste observadas de 8,774; 6,904; 5,820; e 4,983 respectivamente, se desgastaram proporcionalmente de acordo com os valores de suas médias. Assim, as peças com dureza 44 HRC foram as que mais se desgastaram e as com dureza 53 HRC as que menos se desgastaram.

De acordo com o modelo matemático da equação (1), chegou-se às seguintes estimativas: $\hat{m} = 46,5298$; $\hat{\beta} = -2,1242$; $\hat{t}_1 = 2,1537$; $\hat{t}_2 = -0,8000$; $\hat{t}_4 = -1,6373$ e, com isso, têm-se as médias de desgaste para as quatro durezas estudadas, ajustadas para a unidade natural média do ensaio (18,78%), baseando-se nas seguintes equações:

$$\hat{Y}_{17} = 48,6836 - 2,1242 (18,78) = 8,791 \quad (17)$$

$$\hat{Y}_{18} = 46,8134 - 2,1242 (18,78) = 6,921 \quad (18)$$

$$\hat{Y}_{19} = 45,7298 - 2,1242 (18,78) = 5,837 \quad (19)$$

$$\hat{Y}_{20} = 44,8924 - 2,1242 (18,78) = 5,000 \quad (20)$$

Nas equações acima, os símbolos \hat{Y}_{17} , \hat{Y}_{18} , \hat{Y}_{19} , \hat{Y}_{20} dizem respeito aos valores de desgaste esperados para as peças a 44 HRC, 47 HRC, 50 HRC e 53 HRC respectivamente.

Baseando-se nas equações (17), (18), (19) e (20), construiu-se o gráfico mostrado na Figura 11.

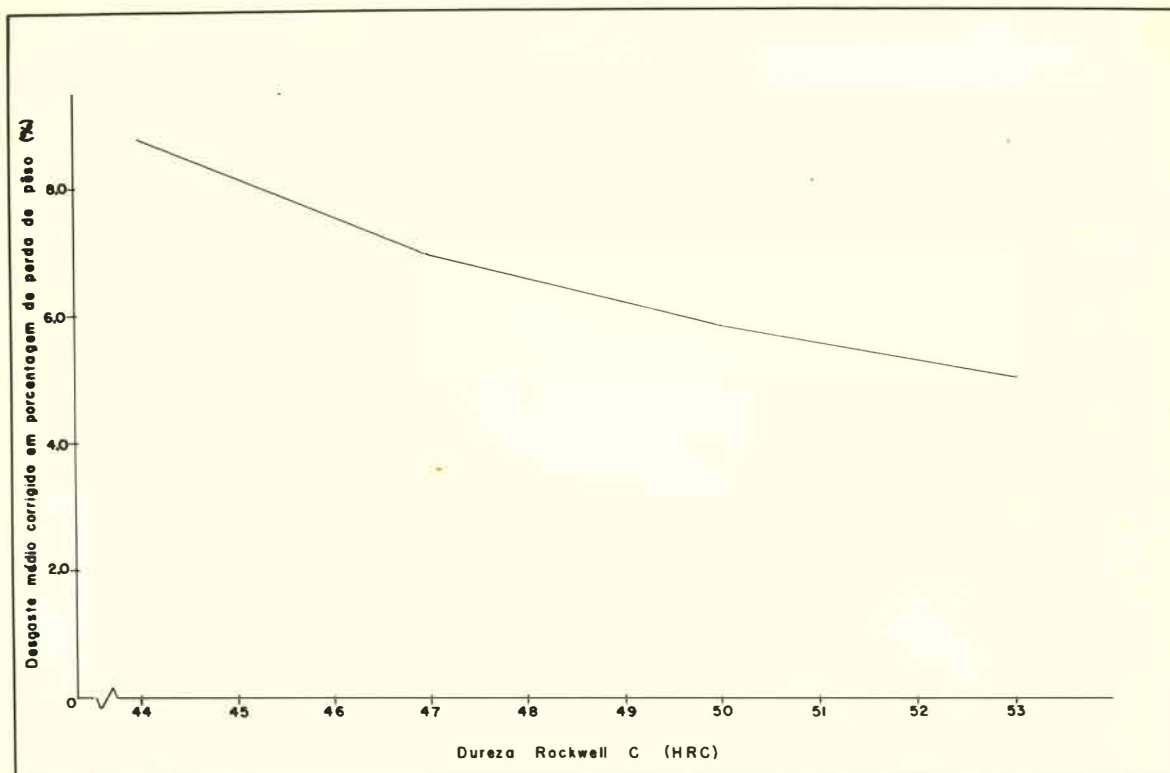


Figura 11. Desgaste médio corrigido das enxadinhas construídas com aço 5160, com valores de dureza 44, 47, 50 e 53 HRC, baseando-se nas equações (17), (18), (19) e (20).

Nos materiais, fixando-se a composição química, isto é, o teor de carbono e de elementos de liga, a dureza e a estrutura são definidas pelo tratamento térmico. Dêste modo, a importância da dureza no desgaste por abrasão pode ser estudada neste ensaio, uma vez que se trabalhou com aço ABNT 5160 e com a estrutura martensítica que, conforme BORGHEI (1968), é uma das mais duras, fornecendo, portanto, maior resistência à abrasão. As diversas durezas foram obtidas fazendo-se variar a temperatura de revenido das enxadinhas durante o tratamento térmico.

De acôrdo com os resultados dêste ensaio, e levando-se em conta que a estrutura foi mantida constante, pode-se tomar por base as explicações de ROSENBERG et al. (1948), BORNEMANN et al. (1958) e JOMINY et al. (1961). Segundo estas, o riscamento da superfície de um metal, provocando o seu rompimento e originando o desligamento e destacamento de suas partículas, sòmente pode ser ocasionado por substâncias mais duras que êle mesmo.

Entretanto, cumpre ainda assinalar, que os resultados de ensaios de dureza, no caso dos metais, não tem significado físico rigorosamente determinado, uma vez que suas propriedades variam durante o próprio ensaio. Para os não metais, tal como as partículas do solo, verifica-se, durante o ensaio, um fissuramento do material provocado mais por fragilidade do que por dureza pròpriamente dita.

Se levarmos em consideração as taxas de desgaste observadas nêste ensaio, elas são mais elevadas do que no ensaio anterior. Tomando-se por base o aço 5160 a 47 HRC, no Perfil P₃, com a umidade variando de 18,8% a 21,8%, a taxa média de desgaste foi de 0,38 g/km. No Perfil P₄, onde a umidade variou de 16,15 a 20,30%, a taxa média de desgaste foi de 1,85 g/km, portanto, quase cinco vêzes maior. Embora não haja neste trabalho uma análise estatística, comparando os valores de desgaste nos dois perfis, fàcilmente pode-se notar que o Perfil P₄ pro-

duziu maior desgaste porque possui alto teor de cascalho fino (21,0%), além de ter um menor valor para os dados de arredondamento destas partículas. Tal fato ressalta a importância de se caracterizarem os solos estudados, através de todas as propriedades que influenciam no processo de desgaste por abrasão.

Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem o desenvolvimento de outras pesquisas, tais como o comportamento de revestimentos superficiais de grande dureza. É o caso da utilização de cromo duro ou "stelite", aplicado por solda, em face da elevada dureza do principal constituinte mineral dos solos estudados. A verificação do comportamento de aços com mais de 1% de C e o estudo microscópico do mecanismo de desgaste, procurando-se adaptar para o caso da abrasão as teorias de desgaste metálico discutidas por CINTRA (1959), são pesquisas que poderão ser também desenvolvidas.

6. CONCLUSÕES

Com base nas condições em que êste trabalho foi realizado, no material e métodos utilizados, seus resultados, análise e consequente discussão, podemos chegar às seguintes conclusões:

1. Em relação aos solos estudados, êsses produziram desgastes diferentes. O solo Podzolizado com Cascalho Perfil P_3 produziu maior desgaste que os outros dois. A série Taquaral produziu o menor desgaste, enquanto que, na série Sertãozinho, observaram-se valores intermediários.

2. No solo Podzolizado com Cascalho o Perfil P_4 produziu maior desgaste que o Perfil P_3 . Tal fato sugere que, para estas unidades, ao nível de série, deve ser feita uma separa-

ção a níveis mais baixos, de fase de solo. Assim sendo, torna-se necessário detalhar mais o levantamento, para estudar este solo quanto a sua abrasividade.

3. O aço ABNT 5160, quando comparado com o ABNT 1070, ABNT 1041 Classe A e ABNT D 5119, foi o que melhor se comportou, sofrendo menor desgaste.

4. A dureza 53 HRC do aço ABNT 5160 foi a que apresentou menor desgaste, quando comparada com as durezas 44 HRC, 47 HRC, e 50 HRC do mesmo aço, evidenciando a importância da dureza no processo abrasivo.

5. O teor de carbono nos aços é um fator importante, sendo que o desgaste diminui com o seu aumento. Mas seu efeito não é predominante quando o mesmo nível de dureza é obtido por aço liga de maior temperabilidade e o excesso de carbono, em relação à dureza máxima, está em solução sólida.

6. Na seleção do aço para determinada peça, é fundamental considerarem-se as dimensões da mesma com relação à temperabilidade do aço a ser especificado.

7. A elevada diferença entre as durezas do quartzo e da superfície do metal, sugere que se considerem, em trabalhos desta natureza, as características do principal constituinte mineral do solo, permitindo que as propriedades das peças ativas, visando a maior resistência à abrasão, possam ser mais bem caracterizadas.

8. Levando-se em conta que o aço ABNT 1070 desgastou-se mais que o aço ABNT 5160 e menos que o ABNT 1041 Classe A, e ABNT D 5119, o material usado pelos fabricantes nacionais não é totalmente inadequado, embora seja também verdade que o aço 5160 poderá ser empregado com durezas mais elevadas, apresentando ainda a vantagem de maior facilidade no tratamento térmico, e menor susceptibilidade a ruptura de caráter frágil.

9. Para o aço 1070, levando-se em consideração os valores das taxas de desgaste obtidas neste trabalho, quando comparadas com as do trabalho preliminar, observa-se que se pode conseguir uma melhora considerável quanto à resistência ao desgaste por abrasão, empregando-se corretamente os tratamentos térmicos.

7. RESUMO

Estuda-se, no presente trabalho, o desgaste por abrasão em enxadinhas de cultivador, fabricadas com quatro materiais diferentes, em três tipos de solos. A importância da dureza foi verificada em quatro níveis distintos, obtidos através de variações no tratamento térmico, mantendo-se constantes a composição química e a estrutura do material.

As peças do cultivador, construídas de aço carbono hipo-eutetóide e aço de baixa liga, foram submetidas à têmpera seguida de revenido, obtendo-se a estrutura martensítica revenida. A caracterização das peças tratadas termicamente foi feita através da dureza Rockwell e da microestrutura. Os solos utilizados foram: série Sertãozinho, pertencente ao grande gru-

po Regossol, série Taquaral, pertencente ao grande grupo Latossol Roxo, e duas unidades do grande grupo Podzolizado com Cascalho. Estes solos são caracterizados através de seu teor de cascalho, textura, da dureza e da espereza ou angulosidade das partículas que os constituem.

Nos ensaios de campo, o desgaste foi quantificado através de percentagem de perda de peso inicial do órgão ativo, e as variáveis consideradas nos ensaios foram: a) tipo de solo, b) umidade do solo, c) composição química do aço, d) dureza do aço.

Os ensaios de campo foram analisados estatisticamente pelo método da Análise da Covariância. Verificou-se que os solos produziram desgastes diferentes, sugerindo uma influência do teor de cascalho, da textura, da angulosidade e da dureza de suas partículas.

Quanto ao metal, estudou-se a ação do teor de carbono e de elementos de liga, além da influência da dureza. Ficou evidente a importância relativa do teor de carbono e da temperabilidade, associada aos elementos de liga, na resistência ao desgaste. Verificou-se também que, mantendo-se constantes a composição química e a estrutura, o desgaste diminui com a elevação dos valores de dureza.

O desgaste por abrasão das enxadinhas aumentou nos solos onde o quartzo se apresentava em maior frequência percentual, com partículas angulosas e de maiores dimensões. Evidenciou-se a necessidade, em trabalhos dessa natureza, da melhor caracterização do principal componente mineral do solo. A partir dos resultados obtidos, são formuladas sugestões para futuros trabalhos.

8. SUMMARY

The wear due to abrasion was studied on sweep cultivators made with four different kinds of steel, working in three different soil types. The hardness importance of the steel was tested at four levels by variation in thermic treatments, with no change neither on the chemical composition nor on the structure of the material.

The sweeps, made with hypoeutectoid carbon and low alloy steel, were farther submitted to the quenching tempering. These treated tips were had their characteristics determined according to the Rockwell hardness and microscopic structure. The utilized soil were: "Sertãozinho" series, which belongs to the Regosol great soil group; "Taquaral" series, which belongs to the Latosol Roxo great group; and two units belonging to the

"Podzolizado com Cascalho" great soil group. These last two ones were characterized according to their degree of gravel content, size distribution, hardness and roughness or angulosity of containing particles.

In the field trials the wear was quantified through the percentage loss in the initial weight of the active tips, and the following variable were taken into account: a) soil types, b) soil humidity, c) chemical composition of the steel, and c) hardness of steel.

The field trials data were statistically analysed by Covariance Analysis. It was verified that the different soils caused different abrasion wear, suggesting influence due to the gravel degree, size distribution, angulosity and hardness of the soil particles.

About the metal, it was investigated the effect of carbon content and of alloy steel, as well as the influence of its hardness. It was evident that the carbon content and hadenability, together with they alloy steel have a relative influence on the resistance to the wear. It was also found that to the same chemical composition and structure of the steel, the wear decreases as the hardness is increased.

The sweeps had increased abrasion wear where the soil percentual frequency of quartz was higher, with more angulated and bigger particles. This work made clear the need of better study related to the mean mineral component of the soil. Based on the results found, suggestions for further works were made.

9. BIBLIOGRAFIA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. Classificação por composição química de aços carbono: Norma P-NB-81. Rio de Janeiro, 1965. 3 pp.
- . . Determinação gasométrica de carbono por combustão direta em aços carbono: Método P-MB-389. Rio de Janeiro, 1968. 4 pp.
- . . Classificação por composição química de aços para construção mecânica: Norma P-NB-82. Rio de Janeiro, 1939. 3 pp.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, Michigan. Cultivator sweep and shovel mountings. In: Agricultural Engineers Yearbook. 2ed. St. Joseph, Michigan, 1955.

pp. 69-70.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Philadelphia. Tests for Rockwell hardness of metallic materials: Designation E 18-65. In: American Society for Testing and Materials Standards. General tests methods. Philadelphia, 1966. v.30, pp.191-214.

————— . Manganese by the persulfate method, chromium by the persulfate oxidation method, silicon by the sulfuric acid method, sulfur by the direct combustion iodate method, phosphorus by the alkalimetric method: Designation E 30-56. In: American Society for Testing and Materials Standards. Chemical Analysis of metals, sampling and analysis of metal bearing ores. Philadelphia, 1968. v.32, pp.11-76.

BORGHEI, ALI MOHAMMADE. Usure par abrasion des outils de travail du sol: Tese. Paris, Faculte des Science de L' Universite de Paris, 1968. 97 fls. illus. (Mimeografada).

BORNEMANN, A. et alii. Wear resistance surface. In: Engineering materials handbook. New York, Mc Graw-Hill, 1958. pp. 1-37.

BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. New York, John Wiley, 1964. Section 21, pp.1-37.

CAMERON, E.N. Ore microscopy. New York, John Wiley, 1961. 210 pp.

CINTRA, JORGE DO AMARAL. Apanhado do estado atual do conhecimento sôbre desgaste de superfícies metálicas. Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 15(55):359-369, 1959.

COLPAERT, HUBERTUS. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 2ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1959. 412 pp.

GILL, W.R. & VANDEN BERG, G.E. Soil dynamics in tillage and

- traction. Washington, U. S. Government Printing Office, 1967. 511 pp. (Agricultural handbook 316).
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, Genebra. Test for Vickers hardness: Designation TC 17-921. Genebra, 1959. 4 pp.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Madson, publicado pelo autor, 1965. 991 pp.
- JASTRZEBSKI, D.Z. Nature and properties of engineering materials. New York, 1959. 460 pp.
- JOMINY, W.E. et alii. The selection of steel for wear resistance. In: American Society for Metals. Metals handbook. 8ed. Novelty, Ohio, Taylor Lyman, 1961. v.1, pp. 244-250.
- KEHL, G.L. The principles of metallographic laboratory practice. New York, Mc Graw-Hill, 1949. 520 pp.
- KHRUSCHOV, M.M. & BABICHEV, M.A. Investigation of the wear of steel in presence of water on rubbing surface ; translated by G. Herrmann. In: American Society of Mechanical Engineers. Friction and wear in machinery. New York, 1958. v.12, pp.25-38.
- KÜPPER, A. & GROHMANN, F. Levantamento pedológico da Estação Experimental "Theodoreto de Camargo". 1962.(A publicar).
- LECHNER, F.G. & McCOLLY, H.F. Abrasive wear resistance of hard facing materials used on agricultural tillage tools. Transactions of the American Society of Agricultural Engineerings, 2(1):55-57, 1959.
- MOHSENIN, N. et alii. Wear tests of plowshare materials. Agricultural Engineering 37(4):816-820, 1956.
- NORMAN, T.E. Factors influencing the resistance of steel casting to high stress abrasion. In Annual meeting of the American Foundrymen's Society, 62nd. Cleveland

- American Foundrymen's Society, 1958. pp.187-196.
(Reprint Nº 58-9).
- NOVITSKAIA, A.A.S. Wear resistance of carbon steel of different structure: translated by G. Herrmann. In: American Society of Mechanical Engineers. Friction and wear in machinery. New York, 1959. v.13, pp.3-16.
- RANZANI, G. et alii. Carta de solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, Centro de Estudo de Solo, 1966. 85 pp.
- REED, I.F. & GORDON, E.D. Determining the wear resistance of metals. Agricultural Engineering 32(2):98-100, 1951.
- & McCREERY, W.F. Results of tests to determine wear resistance of disk blades. Agricultural Engineering 35(2):94-97, 1954.
- ROSENBERG, S.J. et alii. Wear of metals. In: American Society For Metals. Metals handbook. 5ed. Novelty, Ohio, Taylor Lyman, 1948. pp. 218-222.
- ROTHERY, H.W. Estrutura das ligas de ferro. São Paulo, Edgar Blücher, 1968. 214 pp.
- SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Comissão de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1960. 634 pp. (Boletim 12).
- SILVEIRA, GASTÃO MORAES DA. Estudo do desgaste por abrasão em subsolador: Tese. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1969. 57 fls., illus. (Mimeografada).
- . Desgaste em cultivador. Estudo preliminar sôbre o desgaste provocado por abrasão. Engenharia Agrícola. (Entregue a publicação em maio de 1970).
- ; MIALHE, L.G. & VIEIRA, R.R. O desgaste por abrasão em órgãos ativos de máquinas agrícolas. Trabalho

- apresentado no Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais, 25^o Porto Alegre. 1970. Trabalho N^o 45.
- STEEL, R.G. & TORRIE, H.J. Principles and procedures of statistics. New York, Mc Graw-Hill, 1960. 481 pp.
- STROPPEL, T. Über das Instandsetzen abgenutzter Pflungschare und deren Wärmebehandlung. Grundlagen der Landtechnik, Berlin, 11(3):79-82, 1961.
- SUGUIO, KENITIRO. Sedimentologia. São Paulo, Centro Paulista de Estudos Geológicos, 1968. 95 pp.
- VAL'DMA, L.E. The wear of metals in the presence of a non renewable of abrasive; translated by G. Herrmann. In: American Society of Mechanical Engineers. Friction and wear in machinery. New York, 1959. v.13, pp.17-30.
- VELIKANOVA, A.A. Wear resistance of materials for cutting blades; translated by G. Herrmann. In: American Society of Mechanical Engineers. Friction and wear in Machinery. New York, 1962. v.15, pp.63-68.

A G R A D E C I M E N T O S

Expressamos nossos agradecimentos a:

. Dr. Luiz Geraldo Mialhe, Professor-Assistente do Departamento de Engenharia Rural da E.S.A. "Luiz de Queiroz", da U.S.P., pela orientação ao presente trabalho.

. Dr. Renato Rocha Vieira, Prof. Regente da Cadeira de Metalografia do Departamento de Metalurgia da Escola Politécnica, da U. S.P., pelas sugestões apresentadas.

. Eng^o Agr^o Cássio R. de Melo Godoi, Instrutor do Departamento de Matemática e Estatística e ao Dr. José Luiz I. Demattê, do Departamento de Solos e Geologia da E.S.A. "Luiz de Queiroz", da U.S.P., pelas colaborações.

. Eng^o Agr^o Eduwaldo Müller, Diretor da Divisão de Engenharia Agrícola, do Instituto Agronômico, pelas facilidades fornecidas durante a realização do presente trabalho.

. Eng^o Agr^o Sérgio Augusto H. Kurachi, Eng^o Agr^o João Floriano Menezes, demais técnicos e funcionários da Divisão de Engenharia Agrícola, que direta ou indiretamente auxiliaram no presente trabalho.

. A Massey Ferguson do Brasil S.A., Aços Villares e Fábrica Nacional de Implementos, pela cooperação, fornecendo alguns dos materiais usados nesta pesquisa.