

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Tese

**Influência da soldagem de revestimento na vida útil
de ponteiros sulcadoras de semeadoras adubadoras**

Mauro Fernando Ferreira

Pelotas, 2008

MAURO FERNANDO FERREIRA

**INFLUÊNCIA DA SOLDAGEM DE REVESTIMENTO NA VIDA ÚTIL DE
PONTEIRAS SULCADORAS DE SEMEADORAS ADUBADORAS**

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Agronomia, da
Universidade Federal de Pelotas
como requisito parcial à obtenção do
título de Doutor em Ciências (área do
conhecimento: Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado

Co-orientador: Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis

Pelotas, 2008

Banca examinadora

Prof. Dr. Antônio Lilles Tavares Machado
(Orientador)

Prof. Dr. Airton dos Santos Alongo

Prof. Dr. Amauri Cruz Espírito Santo

Prof. Dr. Vilson João Batista

Dedicatória

À Luciana e Helena.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade da realização deste curso.

Ao amigo e orientador professor Dr. Antônio Lilles Tavares Machado pelos ensinamentos, dedicação e apoio.

Ao amigo e co-orientador professor Dr. Ângelo Vieira dos Reis pelos ensinamentos, dedicação e apoio.

A minha esposa Luciana e filha Helena pela paciência, compreensão e amor.

A Fabiano de Moraes Padilha e ao Engenheiro Bernardo Hermont Barcellos Gonçalves, da ESAB, pela construção das ponteiros com soldagem de revestimento.

Aos amigos Fabrício Ardais Medeiros, Sandro Teixeira e Henrique Troger pelo auxílio na construção dos equipamentos e calibração da instrumentação para coleta dos dados.

Ao curso de Especialização Lato Sensu em Gerenciamento e Utilização de Máquinas Agrícolas pelos recursos financeiros para a aquisição de materiais.

Ao diretor do CAVG, Professor Hugo Stephan e ao Engenheiro Agrônomo Flavio Reina Abib pelo empréstimo da área experimental e aos responsáveis pelas máquinas agrícolas do CAVG, Adão Santos e Delvacir Bolke, pelo empréstimo do trator para a realização dos ensaios.

Ao acadêmico de Engenharia Agrícola da UNISC Adroaldo de Oliveira pela ajuda em diversas etapas do trabalho.

Aos bolsistas e colaboradores André Oldoni, César Silva de Moraes e Felipe Reis pelo apoio, dedicação e entusiasmo demonstrados na construção dos equipamentos, organização dos materiais e coletas de dados de campo.

Ao professor Dr. Marcelino Hoppe pelo auxílio nas análises estatísticas.

A professora Msc. Débora Chapon Galli pela revisão do texto.

Ao professor Dr. Amauri Cruz Espírito Santo pelo empréstimo do equipamento com a haste e células de carga e pelas suas críticas e sugestões oferecidas como membro da banca examinadora.

Ao professor Dr. Airton dos Santos Alonço, pela amizade incondicional, constantes incentivos e ensinamentos desde o início de minha carreira profissional e pelas suas críticas e sugestões oferecidas como membro da banca examinadora.

Ao professor Dr. Vilson João Batista, membro da banca examinadora, pelas suas críticas e sugestões oferecidas.

Resumo

FERREIRA, Mauro Fernando. **Influência da soldagem de revestimento na vida útil de ponteiros sulcadoras de semeadoras adubadoras.** 2008. 140f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Este trabalho teve como objetivo analisar alternativas para o aumento da vida útil das ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras adubadoras, através da adição de soldagem de revestimento. Verificou-se o desempenho de cinco tipos de soldagem, utilizando-se eletrodos revestidos e arame tubular, sobre a extremidade das ponteiros. Os testes foram executados em solo franco-arenoso caracterizado fisicamente pela sua textura, índice de plasticidade, densidade e teor de água, assim como a resistência à penetração. O desgaste, a força horizontal e vertical foram obtidos em intervalos de 10,5km até o limite de 52,5km. Os resultados indicaram que a ponteira testemunha perdeu na média do experimento 38,41% da sua massa inicial quando percorreu 52,5km enquanto que as demais ponteiros soldadas percorreram entre 61,0km e 108,7km para atingir as mesmas reduções de massa. Observou-se que as forças verticais e horizontais contribuíram com 11% e 89%, respectivamente, da força resultante na ponteira. Com o uso dos revestimentos obteve-se um aumento da área trabalhada na semeadura, pela maior durabilidade das ferramentas, entre 2,0ha e 13,4ha, em relação à testemunha. A eficiência de campo teórica foi maior quando se utilizou os revestimentos sendo que o arame tubular aumentou em 5,1% em relação à ponteira sem revestimento. A partir dos resultados encontrados conclui-se que se pode aumentar a vida útil das ponteiros de hastes sulcadoras através da adição de material soldável e que a conservação da geometria das ferramentas, proporciona a manutenção das forças atuantes sobre estas assim como a suas características funcionais.

Palavras-chave: Desgaste abrasivo. Força de tração. Revestimento soldado.

Abstract

FERREIRA, Mauro Fernando. **Influence of the covering welding in the useful life of no-till planters hoe openers.** 2008. 140f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

This work had as objective to analyze alternatives to increase the useful life of the ferrules of hoe opener rods of no-till planters, through the addition of covering welding. It was verified the performance of five welding types, being used covered electrodes and tubular wire, over the extremity of the hoe. The tests were executed in franc-sandy soil characterized physically by its texture, plasticity index, density, and water tenor, as well as the resistance to the penetration. The wearing, the horizontal and vertical force were obtained in intervals of 10,5km to the limit of 52,5km. The results indicated that the witness ferrule has lost in the average of the experiment 38,41% of its initial mass when it traveled 52,5km while the other welded ferrules traveled between 61,0km and 108,7km to reach the same mass reductions. It was observed that the vertical and horizontal forces contributed with 11% and 89%, respectively, of the resulting force in the hoe. With the use of the coverings, it was obtained an increase of the area worked in the sowing, for the largest durability of the tools, between 2,0ha and 13,4ha, in relation to the witness. The theoretical field efficiency was larger when it was used the coverings. The tubular wire increased in 5,1% in relation to the ferrule without covering. Starting from the found results we can conclude that it is possible to increase the useful life of the ferrules of furrow opener rods through the addition of welding material and that the conservation of the geometry of the tools, provides the maintenance of the forces that have action on these ones as well as their functional characteristics.

Keywords: Wear abrasive. Traction force. Weld coating.

Lista de figuras

Figura 1	Áreas experimentais dos ensaios de desgaste e esforço de tração.....	40
Figura 2	Aspecto da condição inicial da superfície do solo.....	41
Figura 3	Determinação da resistência à penetração na área experimental	42
Figura 4	Semeadora adubadora utilizada nos testes.....	43
Figura 5	Medição da profundidade do sulco.....	43
Figura 6	Trator utilizado nas avaliações de desgaste e força de tração.....	44
Figura 7	Equipamento para medição das forças horizontal e vertical.....	45
Figura 8	Haste instrumentada com as três células de carga “shear beam”	45
Figura 9	Condicionador de sinais e detalhe das ligações.....	46
Figura 10	Instrumentação de aquisição de dados e computador para armazenamento das informações.....	46
Figura 11	Prensa hidráulica e manômetro utilizado na calibração das células de carga.....	47
Figura 12	Sentido de aplicação horizontal e vertical dos esforços nas células de carga.....	48
Figura 13	Direção dos passes dos eletrodos de revestimento duro longitudinalmente ao eixo da ponteira.....	49
Figura 14	Direção dos passes dos eletrodos de revestimento duro transversalmente ao eixo da ponteira.....	49
Figura 15	Colocação da soldagem de revestimento longitudinal do conjunto 1.....	50
Figura 16	Colocação da soldagem de revestimento transversal do conjunto 2.....	50
Figura 17	Colocação da soldagem de revestimento longitudinal do conjunto 3.....	51
Figura 18	Colocação da soldagem de revestimento longitudinal do conjunto 4.....	51
Figura 19	Colocação da soldagem de revestimento transversal do conjunto 5.....	52
Figura 20	Ponteira testemunha sem soldagem de revestimento.....	52

Figura 21	Dimensões da ponteira testemunha sem soldagem de revestimento.....	53
Figura 22	Durômetro utilizado na verificação da dureza da ponteira original.....	54
Figura 23	Detalhe da medição da dureza da ponteira testemunha.....	54
Figura 24	Posição das ponteiras nas hastes da semeadora adubadora.....	55
Figura 25	Estrutura construída para fotografias digitais das ponteiras.....	56
Figura 26	Gráfico de calibração da célula de carga do canal horizontal superior.....	60
Figura 27	Gráfico de calibração da célula de carga do canal horizontal inferior.....	61
Figura 28	Gráfico de calibração da célula de carga do canal vertical.....	61
Figura 29	Resistência à penetração média das áreas experimentais.....	64
Figura 30	Perda de massa acumulada em gramas por conjunto em função do deslocamento realizado.....	66
Figura 31	Corte das ponteiras testemunha com 52,5km de deslocamento e original para determinação da porcentagem de massa da ponta e suporte.....	68
Figura 32	Parte posterior das ponteiras com 52,5km de deslocamento.....	68
Figura 33	Evolução da perda de massa em relação à massa inicial dos conjuntos.....	70
Figura 34	Linhas de tendência da evolução da perda de massa em relação à massa inicial dos conjuntos.....	72
Figura 35	Perda de massa média em gramas por quilômetro até a distância de 52,5km.....	75
Figura 36	Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 1 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).....	76
Figura 37	Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 2 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).....	76
Figura 38	Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 3 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).....	76

Figura 39	Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 4 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).....	77
Figura 40	Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 5 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).....	77
Figura 41	Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto testemunha com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).....	78
Figura 42	Ângulo de inclinação da haste e de ataque da ponteira.....	79
Figura 43	Comparação da CcT e da CcE durante o tempo de vida útil das ponteiras.....	85
Figura 44	Eficiência de campo teórica em função do tipo de ponteira.....	85
Figura 45	Recomendação da posição de revestimento com arame tubular..	86
Figura 46	Recomendação da posição de revestimento com eletrodo revestido.....	87

Lista de tabelas

Tabela 1	Composição química do aço utilizado nas ponteiros sulcadoras comerciais.....	53
Tabela 2	Características físicas do solo das áreas utilizadas.....	62
Tabela 3	Valores médios de resistência à penetração e teor de água do solo.....	63
Tabela 4	Evolução da perda de massa das ponteiros em função da distância percorrida.....	65
Tabela 5	Distribuição da massa das ponteiros sulcadoras testemunhas nas três repetições com 52,5km de deslocamento e original.....	67
Tabela 6	Evolução da perda de massa, em porcentagem, das ponteiros em relação ao peso inicial na distância percorrida.....	69
Tabela 7	Análise estatística das perdas de massa, em porcentagem, em relação à massa inicial dos conjuntos.....	71
Tabela 8	Conjunto de ponteiros, equação de regressão e graus de correlação.....	73
Tabela 9	Porcentagem de aumento da vida útil da ponteira em função do revestimento.....	74
Tabela 10	Força vertical e horizontal média na ponteira entre 0,0km e 52,5km.....	80
Tabela 11	Análise estatística da força horizontal em relação à distância percorrida.....	81
Tabela 12	Análise da capacidade operacional do trator e semeadora em função do revestimento sobre a ponteira.....	84

Lista de apêndices

Apêndice A	Janela de diálogo da aferição do canal horizontal superior.....	101
Apêndice B	Janela de diálogo da aferição do canal horizontal inferior.....	101
Apêndice C	Janela de diálogo da aferição do canal vertical.....	102
Apêndice D	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 1 na repetição 1.....	103
Apêndice E	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 1 na repetição 2.....	104
Apêndice F	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 1 na repetição 3.....	105
Apêndice G	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 2 na repetição 1.....	106
Apêndice H	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 2 na repetição 2.....	107
Apêndice I	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 2 na repetição 3.....	108
Apêndice J	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 3 na repetição 1.....	109
Apêndice K	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 3 na repetição 2.....	110
Apêndice L	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 3 na repetição 3.....	111
Apêndice M	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 4 na repetição 1.....	112
Apêndice N	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 4 na repetição 2.....	113
Apêndice O	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 4 na repetição 3.....	114
Apêndice P	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 5 na repetição 1.....	115
Apêndice Q	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 5 na repetição 2.....	116

Apêndice R	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 5 na repetição 3.....	117
Apêndice S	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto testemunha na repetição 1.....	118
Apêndice T	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto testemunha na repetição 2.....	119
Apêndice U	Evolução do desgaste da ponteira do conjunto testemunha na repetição 3.....	120
Apêndice V	Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 0,0km.....	121
Apêndice W	Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 0,0km.....	121
Apêndice X	Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 0,0km.....	122
Apêndice Y	Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 0,0km.....	122
Apêndice Z	Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 0,0km.....	123
Apêndice AA	Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 0,0km.....	123
Apêndice BB	Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 10,5km.....	124
Apêndice CC	Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 10,5km.....	124
Apêndice DD	Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 10,5km.....	125
Apêndice EE	Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 10,5km.....	125
Apêndice FF	Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 10,5km.....	126
Apêndice GG	Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 10,5km.....	126
Apêndice HH	Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 21,0km.....	127
Apêndice II	Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 21,0km.....	127
Apêndice JJ	Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 21,0km.....	128
Apêndice KK	Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 21,0km.....	128
Apêndice LL	Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 21,0km.....	129
Apêndice MM	Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 21,0km.....	129
Apêndice NN	Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 31,5km.....	130
Apêndice OO	Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 31,5km.....	130
Apêndice PP	Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 31,5km.....	131
Apêndice QQ	Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 31,5km.....	131
Apêndice RR	Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 31,5km.....	132

Apêndice SS	Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 31,5km.....	132
Apêndice TT	Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 42,0km.....	133
Apêndice UU	Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 42,0km.....	133
Apêndice VV	Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 42,0km.....	134
Apêndice WW	Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 42,0km.....	134
Apêndice XX	Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 42,0km.....	135
Apêndice YY	Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 42,0km.....	135
Apêndice ZZ	Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 52,5km.....	136
Apêndice AAA	Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 52,5km.....	136
Apêndice BBB	Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 52,5km.....	137
Apêndice CCC	Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 52,5km.....	137
Apêndice DDD	Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 52,5km.....	138
Apêndice EEE	Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 52,5km.....	138

Lista de anexos

Anexo A	Especificação dos eletrodos e arame tubular.....	140
---------	--	-----

Lista de abreviaturas e siglas

- ADI - Ferro fundido nodular austemperado (*Austempered Ductile Iron*)
- Área FT – Área de realização das avaliações de força de tração
- ASAE – Sociedade Norte Americana de Engenheiros Agrícolas (*American Society of Agricultural Engineers*)
- CAVG – Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça
- CcT - Capacidade de campo teórica
- CcE – Capacidade de campo efetiva
- Cj1 – Conjunto de ponteira revestida tipo 1
- Cj2 - Conjunto de ponteira revestida tipo 2
- Cj3 - Conjunto de ponteira revestida tipo 3
- Cj4 - Conjunto de ponteira revestida tipo 4
- Cj5 - Conjunto de ponteira revestida tipo 5
- CjTest – Conjunto de ponteira testemunha
- CPACT – Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
- CV – Coeficiente de variação
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FT – Força de tração
- FEBRAPDP – Federação Brasileira do Plantio Direto na Palha
- GPS – Sistema de posicionamento global (*Global Positioning System*)
- HRA – Dureza no durômetro *Rockwell* (*Hardness Rockwell*) escala A
- HRC - Dureza no durômetro *Rockwell* (*Hardness Rockwell*) escala C
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- km - Quilômetro
- PIB – Produto Interno Bruto
- SAE – Sociedade dos Engenheiros Automotivos (*Society of Automotive Engineers*)
- SPD – Sistema plantio direto
- TDA – Tração dianteira auxiliar
- Test – Conjunto testemunha
- UFPEl – Universidade Federal de Pelotas
- UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul
- VUR - Vida útil das ponteiras revestidas

2RM – Duas rodas motrizes

η_{cT} – Eficiência de campo teórica

σ – Desvio padrão

Sumário

1 Introdução	20
2 Revisão de literatura	24
2.1 Sistema plantio direto	24
2.2 Semeadoras adubadoras para o sistema plantio direto	25
2.3 Mecanismo sulcador de haste com ponteira	26
2.4 Força de tração de sulcadores de hastes.....	28
2.5 Valores de força de tração para linha/haste	30
2.6 Força horizontal e vertical atuante na haste	31
2.7 O fenômeno do desgaste	32
2.8 Desgaste abrasivo.....	33
2.9 Desgaste de órgãos ativos de máquinas agrícolas	34
2.10 Força de tração em função do desgaste	36
2.11 Proteção de peças contra o desgaste por abrasão	37
3 Material e métodos	40
3.1 Localização da área experimental.....	40
3.2 Caracterização do solo.....	41
3.3 Equipamento utilizado nos testes de desgaste	43
3.4 Trator utilizado nos testes de desgaste	44
3.5 Instrumentação para a aquisição das forças horizontais e verticais.....	44
3.6 Calibração da instrumentação de leitura de forças horizontais e verticais	47
3.7 Trator utilizado nos testes de força horizontal e vertical.....	48
3.8 Revestimento das ponteiras por soldagem	48
3.9 Avaliação do desgaste das ponteiras	55
3.10 Avaliação das forças horizontais e verticais atuantes nas ponteiras	56
3.11 Delineamento experimental e análises estatísticas	58
3.12 Avaliação da eficiência operacional do revestimento	58
4 Resultados e discussão.....	60
4.1 Calibração do dispositivo de medição de esforços horizontais e verticais	60
4.2 Características do solo	62
4.3 Teor de água no solo e resistência à penetração.....	63
4.4 Perda de massa das ponteiras sulcadoras.....	65
4.5 Alterações da geometria das ponteiras	75

4.6 Força de tração na ponteira sulcadora	78
4.7 Avaliação do ritmo operacional em função dos desgastes.....	83
5 Conclusões.....	88
6 Sugestões para trabalhos futuros.....	90
7 Referências	91
8 Apêndices.....	100
9 Anexos	139

1 Introdução

A semeadura direta, devido as suas vantagens nos aspectos agronômicos, econômicos, operacionais e ambientais, tem sido uma excelente alternativa aos métodos convencionais de implantação das culturas anuais. Tal afirmação é ratificada pelo aumento da área cultivada.

Atualmente o sistema plantio direto (SPD) alcança 25,5 milhões de hectares no Brasil (FEBRAPDP, 2007). Segundo o IBGE (2008), as áreas cultivadas na safra 2007/2008 com cereais, leguminosas e oleaginosas foram 45,4 milhões de hectares. Portanto, no Brasil 56,6% do espaço cultivado utiliza o SPD.

O aumento na área implantada com o sistema plantio direto se deve, entre outros fatores, à utilização de máquinas semeadoras adubadoras com a função de colocar no solo as sementes e fertilizantes, dentro dos espaçamentos e profundidades recomendados, visando dar condições as mais próximas das ideais para o máximo potencial produtivo das culturas (MACHADO et al., 2005). Apesar de avançadas tecnologicamente essas máquinas ainda necessitam de estudos para melhorar seu desempenho.

Dentre os elementos de uma semeadora os sulcadores, responsáveis pela ruptura do solo e abertura dos sulcos para a deposição das sementes e fertilizantes, são de fundamental importância. Diversos testes vêm sendo realizados (CASÃO JUNIOR; SIQUEIRA, 2004; CEPIK et al., 2004; MODOLO et al., 2005a; FURLANI et al., 2006) no sentido de avaliar a sua utilização em condições de campo.

O conjunto haste-ponteira sulcadora possui opção de instalação em aproximadamente noventa por cento das semeadoras nacionais (SILVA; DANIEL; PECHE FILHO, 2003). Sua vantagem principal é a de ser capaz de romper o solo adensado proporcionando ao mesmo tempo uma leve escarificação. O deslocamento do conjunto haste-ponteira e a abrasividade do solo fazem com que ocorra atrito entre estes dois elementos levando ao desgaste da ferramenta.

Existem muitos estudos sobre a demanda de tração, desempenho, interação das ferramentas agrícolas com o solo e seu desgaste vêm sendo mais intensamente pesquisados. Mourad e Santos (2003) construíram um equipamento para a

avaliação do desgaste de órgãos ativos em função do tipo de solo em condição de laboratório. Espírito Santo (2005) avaliou tal dano em dois materiais de ponteiros de sulcadores para deposição de adubo, assim como as forças horizontais e verticais nas ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras adubadoras para semeadura direta. Trevisan (2007) apresentou uma revisão bibliográfica sobre desgaste de elementos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo e analisou os materiais constituintes utilizados pelos fabricantes.

Sob o enfoque de que muitas máquinas operam anualmente na realização da semeadura e adubação, mobilizando grandes quantidades de solo, o desgaste de sulcadores possui relevância.

Um mecanismo sulcador deve realizar um sulco estreito e bem definido além de trabalhar em uma profundidade uniforme. A posição ideal da colocação do fertilizante vem a ser ao lado e abaixo da semente sendo este aspecto importante para o pleno desenvolvimento das culturas.

Entre as diversas formas de desgaste, o principal é aquele decorrente da abrasão em virtude da remoção do material da ferramenta devido ao seu movimento e atrito no solo. Tal ação proporciona, além de uma redução da eficácia e eficiência operacional dos implementos, uma perda econômica, em razão da substituição freqüente das ferramentas.

Muitos fatores influenciam o desgaste abrasivo, como o material de construção da ferramenta, assim como as condições e características do solo como a textura, o grau de compactação, o seu teor de água, entre outros.

A ação do desgaste por abrasão ocorre principalmente quando a ferramenta é utilizada em solos de textura arenosa. Estudos realizados por Espírito Santo (2005) mostraram que em solo franco-arenoso ponteiros de hastes sulcadoras comerciais confeccionadas em aço SAE 1060 forjado apresentaram elevados índices de desgaste, sendo sua vida útil máxima estimada em torno de dez horas de trabalho.

Com a parada freqüente destes equipamentos, a eficiência operacional da tarefa de semeadura diminui, alterando o cronograma de trabalho. Perdas de tempo com manutenções constantes e indesejáveis comprometem o período total de semeadura e a produtividade da cultura. Além disso, tal situação afeta a segurança no trabalho do operador, visto que as substituições das peças muitas vezes ocorrem em locais de difícil acesso.

A força de tração proporcionada pelo conjunto haste-ponteira também se torna importante na análise do desgaste da ferramenta. Espírito Santo (2005) verificou que quanto maior o desgaste da ponteira, maior a força horizontal exigida. Este comportamento pode ser atribuído à variação do ângulo de ataque da ferramenta na medida com que foi desgastada ou ainda pela maior área de contato solo e ferramenta pela compensação do mecanismo de regulagem de profundidade, penetrando a parte mais larga da ponteira no solo e conseqüentemente mais energia imposta à tração do equipamento.

Uma alternativa à redução do desgaste das ferramentas é a utilização de materiais alternativos aos usuais ou, ainda, a colocação de um material de revestimento com propriedades adequadas de resistência a abrasão.

Para a realização deste trabalho partiu-se dos seguintes pressupostos:

“Se a soldagem de revestimento protege com eficiência um componente exposto ao desgaste, então com a adição de material soldável em locais identificados como mais sujeitos a abrasão, consegue-se o aumento da vida útil das ponteiras de sulcadores de semeadoras adubadoras para semeadura direta”.

“Se a conservação da massa de uma ponteira mantém a sua configuração geométrica, então a adição de material soldável em determinados locais mais sujeitos a abrasão, garante a geometria da ferramenta e desta maneira à preservação das forças horizontais e verticais assim como a sua característica funcional ao longo da vida útil”.

Este trabalho apresentou como objetivo geral a obtenção de uma alternativa no sentido de se aumentar a vida útil das ponteiras de hastes sulcadoras de semeadoras adubadoras de semeadura direta, através da adição de soldagem de revestimento nos pontos sujeitos ao maior desgaste da ferramenta.

Como objetivos específicos buscou-se:

Identificar os locais, nas ponteiras sulcadoras, onde ocorre maior desgaste, a fim de, nestes, adicionar o material soldável.

Analisar, entre cinco alternativas de deposição do material soldável, aquela que permite maior aumento na vida útil da ponteira.

Quantificar o aumento da vida útil da ponteira sulcadora decorrente da soldagem de revestimento.

Verificar a existência de variação nos esforços verticais e horizontais sobre as ponteiros devido à adição do revestimento, ao longo de sua vida útil.

O conteúdo desta tese é apresentado em sete capítulos de acordo com a descrição a seguir:

No capítulo 1 foi apresentada a contextualização deste trabalho, sendo a seguir delimitado o problema, exposto a justificativa, a importância do tema, o objetivo geral e os objetivos específicos.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão de literatura com a finalidade de embasar o trabalho da tese, caracterizando o sistema plantio direto, as semeadoras adubadoras para esta finalidade, o mecanismo sulcador de haste com ponteira e as forças envolvidas assim como a caracterização do fenômeno do desgaste e maneiras de proteção contra a abrasão.

No capítulo 3 são apresentados o material e os métodos para a caracterização da área experimental, as máquinas e equipamentos utilizados, a maneira de realização do revestimento das ponteiros e a forma da avaliação do desgaste e forças verticais e horizontais.

No capítulo 4 são mostrados e discutidos os resultados encontrados em relação ao solo da área experimental, ao desgaste das ferramentas e as forças atuantes sobre estas.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões finais do trabalho.

No capítulo 6 indicam-se as sugestões para trabalhos futuros.

No capítulo 7 é referenciada a bibliografia consultada que serviu de suporte para a realização desta tese.

Espera-se com este trabalho a obtenção de uma alternativa que permita o aumento da vida útil da ponteira sulcadora, ampliando o período de tempo de trabalho e a eficiência de campo efetiva da tarefa de semeadura, reduzindo os custos no uso da semeadora adubadora e minimizando o risco de acidentes do agricultor pela menor exposição deste aos mecanismos da máquina devido à redução da quantidade de trocas das ferramentas.

2 Revisão de literatura

2.1 Sistema plantio direto

Os métodos convencionais de produção adotados inicialmente, segundo modelos europeus, necessitava de excessivo revolvimento do solo proporcionando ausência de cobertura vegetal na superfície do terreno, conduzindo a problemas de erosão eólica, hídrica e à compactação dos solos. Técnicas conservacionistas começaram a ser desenvolvidas, minimizando tal mobilização e mantendo a cobertura na tarefa de semeadura (COELHO, 1996).

Para aumentar a eficiência no processo produtivo, alternativas vêm sendo propostas visando minimizar as perdas erosivas advindas dos preparos convencionais. Bortolotto, Pinheiro Neto e Bortolotto (2005) afirmaram que a semeadura direta vem se expandindo como opção ao manejo convencional devido a vantagens econômicas e ambientais.

O sistema plantio direto (SPD) é uma tecnologia amplamente difundida no Brasil. Provocou uma grande mudança nos conceitos de uso, manejo e conservação do solo, sendo focado na sustentabilidade dos sistemas de produção aliado à preservação dos recursos naturais (SILVA, 2003).

Caracteriza-se pela mobilização do solo somente na linha de semeadura apresentando como vantagens a redução dos custos de produção, aumento da produtividade e a qualidade dos produtos, além da possibilidade de recuperação e preservação dos recursos naturais (IAC, 2005).

A semeadura direta é um sistema de manejo eficiente em termos de conservação do solo e da água, economia de energia e capacidade operacional dos conjuntos mecanizados. Tem o objetivo de produzir sulcos adequados com o mesmo tipo de sulcador, em diferentes regulagens, nas mais diversas condições de teor de água e graus de consolidação do solo (CEPIK; TREIN; LEVIEN, 2005).

Tecnologicamente o SPD é considerado o mais adequado método para a produção agrícola no Brasil, possuindo três princípios básicos: manejo do solo sem

revolvimento, presença permanente da cobertura e rotação de culturas (PECHE FILHO, 2005).

Segundo a FEBRAPDP (2007) a evolução da área plantada demonstra a importância e o crescimento que o sistema possui no Brasil, onde na safra 2002/2003 eram plantados 20,2 milhões de hectares e na safra 2006/2007 aproximadamente 25,5 milhões de hectares.

Com o revolvimento mínimo do solo preconizado pelo SPD, essa operação precisa ser realizada com o máximo de critério, diminuindo a possibilidade de perdas no desenvolvimento e produtividade das culturas (GERMINO; BENEZ, 2006).

As características das máquinas utilizadas no plantio direto e o estado físico do solo precisam ser considerados para que se consiga alcançar os benefícios esperados do SPD, como desenvolvimento inicial adequado e alta produtividade da cultura (KOAKOSKI et al., 2007).

2.2 Semeadoras adubadoras para o sistema plantio direto

A operação de semeadura é decisiva para o estabelecimento de culturas anuais destinadas à produção de grãos. Nos preparos conservacionistas sua importância aumenta devido às condições do solo e da cobertura que geralmente não são favoráveis à deposição das sementes (MODOLO et al., 2004).

O sistema de produção agrícola exige tecnologias mais aperfeiçoadas para o seu desenvolvimento, tendo o SPD contribuído diretamente neste sentido, com o aprimoramento de equipamentos que melhor se adaptam as suas condições preliminares de implantação. Com a consolidação da indústria de máquinas e implementos no Brasil ocorreram transformações que refletiram nos conceitos uso e manejo do solo, induzindo alterações na concepção e utilização das semeadoras (GERMINO; BENEZ, 2006).

Para atingirem-se aos objetivos do SPD faz-se necessário a utilização de semeadoras adubadoras adaptadas a esta tarefa, isto é, capazes de depositar, adequadamente, a semente e o adubo em condições de solo de maior densidade e grande quantidade de palha (MACHADO et al., 2005).

As semeadoras adubadoras de plantio direto desempenham funções de cortar a cultura de cobertura, dosar as sementes e o adubo em quantidades

preestabelecidas, segundo a necessidade específica, e abrir um sulco no solo, depositando a semente e o fertilizante na profundidade e distâncias apropriadas (COELHO, 1996).

Segundo Machado et al. (2005), a semeadora adubadora é uma máquina agrícola dotada de órgãos responsáveis pela abertura dos sulcos, dosagem e distribuição das sementes e adubo no solo e mecanismos de fechamento dos sulcos.

Os componentes da semeadora para o sistema plantio direto podem ser divididos em grupos de funções: corte dos resíduos e do solo, preparação da linha de semeadura, sulcadores, mecanismo de pressão sobre a semente e controle de profundidade, mecanismos de recobrimento e fechamento do sulco. De acordo com os resíduos presentes na superfície e as condições do solo são determinados quais componentes serão utilizados e os que podem ser retirados da máquina (ASAE, 1995).

Silva, Daniel e Afonso Filho (2003) estudaram as semeadoras adubadoras mais representativas do mercado nacional e apresentaram um índice de adequação para as mesmas. Verificaram que 73% dos equipamentos nacionais são mais indicados para as pequenas e médias propriedades, possuindo de três a doze linhas de semeadura e adubação.

Para se conseguir uma boa população de plantas nas condições do SPD as semeadoras adubadoras necessitam penetrar no solo firme, fazer um sulco no solo que contém alta quantidade de cultura de cobertura sem, todavia, revolvê-lo (TAYLOR; SCHROCK, 1999). Para que esta característica seja alcançada necessitam dos mecanismos sulcadores.

2.3 Mecanismo sulcador de haste com ponteira

Coelho (1996) define sulcador como sendo o elemento responsável pela abertura do sulco à profundidade predeterminada.

Os mecanismos sulcadores, segundo Chaudhuri (2001) e Machado et al. (2005), são importantes componentes de uma semeadora adubadora, os quais abrem o sulco e permitem a colocação de sementes e fertilizantes antes de serem

cobertos com o solo. Os tipos de sulcadores utilizados variam de acordo com o solo e com as condições de operação.

Cepik, Trein e Levien (2005) afirmaram que as funções de um sulcador no sistema de semeadura direta incluem a descompactação e mobilização do solo em subsuperfície e em profundidade estipuladas tecnicamente. Entretanto, seu trabalho deve causar o mínimo de mobilização possível na superfície do solo evitando a abertura da cultura de cobertura sobre a linha de semeadura e adubação.

Existem diversos tipos e combinações de sulcadores em função do preparo de solo realizado, tipo, forma e quantidade dos resíduos da cultura de cobertura, tipo, teor de água e compactação do solo, profundidade de semeadura, velocidade e mobilização da linha de semeadura (ASAE, 1995).

A evolução das máquinas semeadoras adubadoras utilizadas no SPD proporcionou mudanças na sua concepção e utilização, especialmente relativas aos mecanismos sulcadores, os quais eram constituídos por discos duplos e foram substituídos por hastes com ponteiros (OLIVEIRA et al., 2000).

Para Germino e Benez (2006) essa substituição vem sendo adotada pelos produtores em virtude de que as hastes sulcadoras para a deposição do fertilizante atuam em maiores profundidades, rompendo camadas compactadas do solo e adiando desta maneira o uso dos escarificadores e subsoladores.

As hastes com ponteiros são elementos que rompem o solo, exigindo maiores esforços de tração e consumo de combustível, quando comparadas aos discos duplos. Entretanto, o rompimento de camadas compactadas em conjunto com a operação de semeadura, torna-se uma prática tecnicamente viável, uma vez que se racionaliza o uso das máquinas, podendo-se até eliminar operações prévias de escarificação do solo (SILVA, P. et al., 2003).

Analisando os modelos disponíveis de semeadoras adubadoras para o sistema plantio direto no mercado brasileiro, Silva (2003) estudou treze empresas e 278 modelos, representando cerca de 90% dos fabricantes nacionais. Quanto ao tipo de sulcador para deposição de fertilizante, verificou que 94,6% das máquinas possuem a opção de haste sulcadora. Com relação às opções de tipo de sulcador para semente observou que apenas 9,4% dos modelos nacionais podem ser equipadas com o tipo haste sulcadora.

A haste ou facão é um tipo de sulcador muito comum usado nos cultivos mínimos e SPD, proporcionando maior movimentação de solo e, conseqüentemente, o aumento da perda do teor de água no sulco (CHAUDHURI, 2001).

Segundo a ASAE (1995), o mecanismo sulcador tipo haste é montado na linha de semeadura vertical ou com ângulo na direção do deslocamento da máquina, sendo utilizado para a penetração em solos com menor teor de água.

Segundo Portella (2001), as hastes devem ter espessura inferior a 20 mm, com ângulo de ataque de 20° a 25° em relação à superfície do solo, podendo apresentar diversos formatos (reto, inclinado ou parabólico). Estas características resultam em movimentação reduzida do solo, menor esforço de tração e maior facilidade de penetração. Segundo o autor quando se trabalha com hastes sulcadoras é necessária a colocação de um disco de corte frontal e próximo a haste para obter-se um desempenho satisfatório. Normalmente a haste e ponteira é usada para colocar fertilizante em profundidades entre 10cm e 15cm, ao mesmo tempo em que promove certa descompactação na linha de semeadura.

O sulcador segundo Schlosser (1997) deve colocar o adubo a profundidade uniforme e mostrou que o ideal é a colocação do fertilizante ao lado e abaixo da posição da semente sendo este um dos fatores para se garantir o maior rendimento da cultura.

2.4 Força de tração de sulcadores de hastes

Atualmente muitas pesquisas estão sendo feitas em condições de laboratório e de campo para se estimar as forças atuantes em órgãos ativos de semeadoras e, conseqüentemente, fazer uma estimativa da força de tração necessária.

Segundo Machado, R. et al. (2007), o conhecimento dessa variável permite a estimativa da potência necessária para tracionar a semeadora, resultando em economia de energia, evitando-se o uso de tratores maiores do que a necessidade.

O aumento da força de tração observada com a ampliação da profundidade de semeadura mostra a importância da operação de sulcadores, com influência no motor do trator e custos com o consumo de combustível (COLLINS; FOWLER, 1996).

O esforço de tração exigido nas hastes, segundo Sánchez-Girón et al. (2005), depende da geometria da ferramenta, como o ângulo de ataque, a largura da ponteira e o formato, espessura e ângulo de inclinação da haste. A força de tração, de acordo com Chandon e Kushwaha (2002), deriva também das propriedades do solo, velocidade de deslocamento e da largura do equipamento. Estes parâmetros são importantes para o estudo dos requerimentos de potência e desempenho das máquinas agrícolas.

Machado (2001) afirmou que os estudos dos esforços que atuam em equipamentos são características fundamentais para a solução de problemas com máquinas agrícolas. Projetos adequados, redução de desperdícios e seu uso correto dependem dessas informações. Em sua revisão bibliográfica apresentou os fatores que afetam o esforço de tração. Além das citadas, relacionou outros parâmetros que o influenciam como a textura, adesão e coesão do solo, seu teor de água, desgaste da ferramenta e a relação solo-ponteira. Isso demonstra a dificuldade de se fazer uma previsão da força de tração que atua em um componente, onde todos estes fatores contribuem no sistema.

Os teores de água no solo devem ser considerados no estudo das forças de tração. Ashburner e Sims (1984) afirmaram que a adesão do solo com a ferramenta representa as forças de atração geradas pela presença da água no mesmo. Com um alto teor de água esta apresenta uma sucção dentro da estrutura do solo atraindo a ferramenta, enquanto que com baixo teor gera uma série de espaços de ar e água entre a ferramenta e o solo, provocando uma força de atração devida à tensão superficial da água.

Chandon e Kushwaha (2002), em trabalho de avaliação do desempenho de dois tipos de ponteiros e três velocidades de deslocamento em solo arenoso e argiloso concluíram que a força de tração foi ampliada com o aumento na velocidade de operação nos dois tipos de solos, sendo, contudo, menor no argiloso.

2.5 Valores de força de tração para linha/haste

A intensidade de força de tração, conforme ASAE (1999), para semeadoras de precisão na direção do deslocamento com adequado leito de semeadura varia entre $0,9\text{kN} \pm 25\%$ por linha, somente para semeadura e $3,4\text{kN} \pm 35\%$ por linha para semeadura, adubação e colocação de herbicida.

Siqueira et al. (2001), estudando treze diferentes modelos de sulcadores tipo haste obtiveram forças de tração entre $1,38\text{kN}$ e $3,20\text{kN}$ com velocidade média de deslocamento de $5,50\text{km.h}^{-1}$, profundidade de trabalho de 117mm a 133mm em solo argiloso.

Bortolotto, Pinheiro Neto e Bortolotto (2005) testaram a demanda energética de uma semeadora adubadora sob diferentes velocidades de deslocamento e tipos de cobertura vegetal. Em seus resultados encontraram que a força de tração média por linha variou entre $1,62\text{kN}$ e $1,76\text{kN}$ em Latossolo Vermelho Distrófico com relevo suave ondulado e velocidade de deslocamento de $5,56\text{km.h}^{-1}$ a $10,21\text{km.h}^{-1}$.

Machado, R. et al. (2007) compararam as informações dos esforços de tração de 32 trabalhos técnicos científicos realizados em campo com as informações de catálogos de 307 modelos de diversos fabricantes. Em pesquisas experimentais encontraram valores de força de tração entre $1,15\text{kN.linha}^{-1}$ até $4,60\text{kN.linha}^{-1}$, dependendo das condições dos testes realizados.

Em um experimento de determinação da demanda de tração em haste sulcadora, Conte et al. (2007) afirmaram que a força de tração exigida aumentou de $1,90\text{kN}$ para $4,30\text{kN}$, quando a profundidade de trabalho aumentou de 120mm para 150mm em Latossolo Vermelho Distroférrico.

A força de tração medida na haste sulcadora de adubo de uma semeadora adubadora aumentou de 70% a 130% quando cresceu a profundidade de trabalho de 60mm para 120mm , dependendo do teor de água do solo Argiloso Vermelho Distrófico típico (CEPIK; TREIN; LEVIEN, 2005).

Modolo et al. (2005b) avaliaram a força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura, com mecanismos sulcadores do tipo haste para fertilizante, em solo Latossolo Vermelho Distroférrico com relevo plano e textura argilosa. Os valores variaram entre $6,10\text{kN}$ e $11,12\text{kN}$, concluindo que com o aumento de uma para cinco linhas a força de tração média na barra ampliou-se em $131,9\%$.

2.6 Força horizontal e vertical atuante na haste

Os esforços horizontal e vertical são importantes fatores para se compor a força resultante da haste sulcadora, a qual, conforme Chandon e Kushwaha (2002), pode ser calculada pela soma destas duas componentes pela regra do triângulo ou paralelogramo.

Casão Junior et al. (2000), estudando os esforços tridimensionais exigidos por semeadoras adubadoras em diferentes velocidades de deslocamento, verificaram que a força horizontal de tração representou 98% da força resultante, concluindo que em avaliações onde somente este parâmetro é considerado, a informação se aproxima do resultado final da resultante.

Germino e Benez (2006) avaliaram os esforços horizontais, verticais e laterais de hastes sulcadoras comerciais e experimentais. Na profundidade mínima estudada de 130mm a força vertical foi, em média, 45% da resultante total. Quanto maior a profundidade trabalhada a força vertical foi sendo reduzida em relação à horizontal, sendo que na profundidade de 330mm a relação foi de 16% da força resultante.

Estudando o esforço de tração em hastes sulcadoras no Planossolo operando a uma profundidade de 120mm com ponteira nova Espírito Santo (2005) encontrou forças verticais e horizontais de 1,10kN e 1,68kN, respectivamente. A componente da força vertical foi aproximadamente 65% da horizontal. Com o aumento do desgaste da ponteira até 46% da massa total as forças verticais e horizontais foram de 0,99kN e 2,50kN, respectivamente, reduzindo o percentual da componente vertical para 36,9%.

Segundo Chandon e Kushwaha (2002), existe uma diferença significativa na força vertical em função da velocidade de operação em solos argilosos, não apresentando igual comportamento em arenosos. Todavia, tal componente foi menor nos argilosos.

Casão Junior et al. (2000) estudaram o desempenho de oito hastes sulcadoras com características construtivas diferentes, em Latossolo Roxo e em condições variáveis de umidade, densidade, resistência à penetração, velocidade e profundidade do sulco. Seus resultados indicaram que com a redução da largura, do ângulo de ataque da ponteira e curvatura da haste há diminuição na força horizontal e vertical; com a maior resistência à penetração, densidade do solo, profundidade de

trabalho e teor de água há aumento em ambas as forças, enquanto a ampliação da velocidade de trabalho as diminui.

A força de tração de equipamentos agrícolas é uma característica importante para se conhecer a potência do motor do trator, de forma que a tarefa seja feita com a maior eficiência de conversão de energia. As informações apresentadas mostram diversos fatores agindo simultaneamente na interação solo-ferramenta e, conseqüentemente, na força de tração das máquinas agrícolas, o que dificulta a obtenção dessas informações e desafia pesquisadores para sua adequada estimativa, seja por equações de simulação ou testes diretos a campo.

2.7 O fenômeno do desgaste

O desgaste de componentes mecânicos em equipamentos industriais e agrícolas representa um fator de depreciação de capital e fonte de despesas com manutenção e/ou reposição de peças desgastadas, podendo limitar ou interromper a produção do equipamento e aumentando os custos de produção (BAPTISTA; NASCIMENTO, s.d.).

O estudo dos mecanismos de desgaste dos materiais utilizados em implementos agrícolas é fundamental para a escolha dos mesmos e para a previsão da durabilidade de um equipamento (MOURAD; SANTOS, 2003).

O fenômeno do desgaste tem onerado as indústrias no mundo todo, conforme Clara (2002), provocando falhas prematuras em peças e equipamentos. Os desgastes podem ser mantidos dentro de certos limites aceitáveis desde que se tenha o conhecimento dos esforços e mecanismos a que a peça encontra-se submetida, a fim de que sua capacidade de trabalho não seja prejudicada.

Jost citado por Moraes (2005) conceitua tribologia como a ciência e tecnologia que estuda a interação de superfícies em movimento relativo com as práticas relacionadas. Baseia-se na investigação de três fenômenos: lubrificação, atrito e desgaste. Os dois últimos não são propriedades intrínsecas dos materiais, mas características dos sistemas de engenharia chamados de tribossistemas.

Na literatura existem diversas definições de desgaste. Para Brandi (2004) é um dano a uma superfície sólida envolvendo uma perda progressiva de material devido à movimentação relativa entre a superfície de um ou vários materiais.

Segundo Czichos citado por Moraes (2005) é a perda progressiva de matéria da superfície de um corpo como consequência do movimento relativo de um segundo corpo sobre o primeiro. Segundo o mesmo autor, estatísticas indicam que de 1% a 5% do PIB são gastos pela ação direta ou indireta do desgaste.

O desgaste, além da característica sistêmica é um fenômeno superficial, foco de interesse da tribologia (MORAES, 2005).

Segundo Bhole e Yu (1992), o desgaste pode ser considerado como a remoção de material de superfícies sólidas devido ao resultado da ação mecânica. Entre os desgastes o abrasivo é o que melhor descreve a ação do solo sobre as ferramentas em contato com o mesmo.

2.8 Desgaste abrasivo

O desgaste abrasivo é alvo constante de estudos científicos, tanto no sentido de minimizar a perda de massa de um sistema tribológico sujeito a presença de abrasivos, quanto no de melhorar a qualidade superficial em processos de fabricação (BARROS; MELLO, 2008).

Eyre citado por Moraes (2005) afirmou que o desgaste abrasivo é um dos principais envolvidos na degradação de peças. Encontrado com maior frequência, é responsável por 50% das falhas, conferindo-lhe grande importância econômica.

Conforme Brandi (2004) entre os cinco tipos de desgastes existentes, aquele decorrente da abrasão possui interesse na relação das ferramentas agrícolas com o solo. Esse tipo de dano é devido a partículas duras que são forçadas contra uma superfície e se movem sobre ela.

No desgaste por abrasão existem dois processos agindo quando o abrasivo entra em contato com a superfície. O primeiro é a formação de um sulco sem remoção de material e o segundo a remoção do material da superfície na forma de pequenas partículas. Diversos fatores aceleram o desgaste, como a propriedade do abrasivo, os fatores externos, como a velocidade e a carga, e as características mecânicas do material e sua estrutura metalúrgica (BRANDI, 2004).

Devido a diferenças entre os diversos tipos de abrasão, a classificação mais utilizada, segundo Baptista e Nascimento (s.d.), é a abrasão a dois ou a três corpos. A primeira se produz quando partículas abrasivas duras são animadas de

movimento relativo em relação à superfície em estudo. Nas máquinas agrícolas ocorre tipicamente a abrasão a baixa pressão na superfície dos órgãos ativos. A superfície assim desgastada é riscada pelo abrasivo, que ao penetrar na superfície, promove a remoção de material. As tensões impostas sobre as partículas abrasivas são inferiores aquela necessária para a fragmentação do abrasivo.

O desgaste abrasivo ocorre entre superfícies móveis em contato, sob a ação de uma carga, onde a presença de partículas duras nos corpos, ou no meio, promovem interações físicas que deformam a superfície podendo levar a remoção do seu material. Os modos de desgaste abrasivo se subdividem de acordo com certas características comuns, em três grupos principais: situação, que é a descrição das condições macroscópicas que produzem o desgaste, como a geometria do contato, tensão, velocidade de deslocamento, entre outras; mecanismos, que são os processos microscópicos pelos quais partículas de desgastes são geradas; manifestações, que são fenômenos como a taxa de desgaste e transições destas características das superfícies desgastadas (BARROS; MELLO, 2008).

2.9 Desgaste de órgãos ativos de máquinas agrícolas

Reis e Forcelini (2002) afirmaram que as ponteiros de escarificadores, assim como todas as ferramentas que interagem com o solo, estão sujeitas ao desgaste por abrasão. A durabilidade destes órgãos ativos permanece um problema a ser resolvido, pois o desgaste gerado pelo solo causa a substituição periódica destes componentes. O procedimento, além de ser dispendioso, onerando o agricultor, demanda tempo que poderia ser utilizado em trabalho efetivo.

Em revisão bibliográfica sobre desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo Trevisan (2007) pesquisou 28 trabalhos científicos. Os fatores listados como causadores foram muito semelhantes entre as pesquisas e assim relacionados: composição, estrutura e dureza do material, força de tração, tipo de solo e seu teor de água, profundidade de trabalho, velocidade de deslocamento e posição do órgão ativo no chassi.

O desgaste dos órgãos ativos de máquinas, usualmente expresso em perda de massa, depende, segundo Owsiak (1999), de vários fatores que podem ser

divididos em: condições do solo, características operacionais e de projeto do elemento.

Segundo Trevisan (2007), 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 arenosos aumenta. A taxa de desgaste também varia com a velocidade de deslocamento, sendo mais crítica entre 10km.h^{-1} e 18km.h^{-1} .

Reis e Forcellini (2002) afirmaram que o solo não atua de forma uniforme sobre toda a superfície da ponteira. Observações a campo de órgãos ativos de escarificadores mostram que a parte inferior da ponteira, na qual se encontra o seu gume, é a mais afetada.

Mourad e Santos (2003) construíram um equipamento para a avaliação dos desgastes de ferramentas em condições de laboratório, utilizando 4 tipos de solos e 3 órgãos ativos de máquinas: relha do arado de aiveca, ponteiras de subsolador e de escarificador. Controlaram o desgaste por pesagem, afirmando que estes resultados são confiáveis e satisfatórios. Concluíram que o desgaste abrasivo depende do tipo de solo uma vez que aumentando a percentagem de areia a taxa de desgaste média também aumenta, enquanto o inverso ocorre quando o teor de argila é maior.

A taxa de desgaste normalmente é determinada através da sua perda de massa (MACHADO A. et al., 2007). Com o objetivo de estabelecer uma metodologia diferenciada, ágil e de fácil execução para verificação do desgaste de ferramentas simétricas que provocam a mobilização do solo, baseada na utilização da fotografia digital, os autores analisaram 4 ponteiras de hastes sulcadoras submetidas ao desgaste. Estas foram fotografadas em seus planos frontal e lateral, sobre uma superfície padrão, utilizando posteriormente o programa "AUTO CAD¹" para o desenho das ferramentas. Os dados obtidos possibilitaram verificar que houve uma adequada correlação entre o desgaste analisado tradicionalmente, por meio da perda de massa, com aquele obtido pela fotografia digital. Também foi possível o acompanhamento passo a passo, de forma rápida, precisa e com baixo custo, do desgaste das ponteiras em função da variação de suas áreas frontal e lateral,

¹ Marca registrada Autodesk.

facilitando o entendimento de como e onde ocorreu o processo abrasivo do solo sobre as mesmas.

Owsiak (1999) realizou um estudo sobre o desgaste em ponteiros de escarificadores em solo argiloso, afirmando que esse foi maior quando a ferramenta trabalhou no sulco dos pneus do trator. Os desgastes foram maiores em solos arenosos, pois estão associados a maiores diâmetros das partículas do solo abrasivo, aumentando a pressão em pontos do órgão ativo.

Espírito Santo (2005), trabalhando com ponteiros de sulcadores, avaliou três métodos de acompanhamento de desgaste em solo franco arenoso: através da pesagem, fotografia digital e medição em três dimensões, pela modelagem em gesso nas diferentes fases de desgaste. Estudou também o desempenho das ferramentas em função do material de fabricação, observando que as ponteiros em ADI (ferro fundido nodular austemperado) apresentaram uma vida útil de 17 horas, enquanto aquelas confeccionadas em aço SAE 1060 forjado registraram 10 horas, perdendo respectivamente, 30,77% e 57,75% de sua massa original. A ponteira em ADI registrou uma vida útil 70% maior do que a em aço SAE 1060 forjado.

2.10 Força de tração em função do desgaste

Segundo Fielke (1996), pesquisas demonstram que as forças atuantes sobre os implementos de preparo do solo são alteradas devido ao desgaste das ponteiros, o qual muda a sua geometria.

Com relação aos esforços atuantes na ponteira, Espírito Santo (2005) identificou que a força horizontal aumentou na medida em que a ferramenta foi se desgastando, evidenciando-se de forma mais significativa a partir de 15% de desgaste. Já com relação à força vertical, o desgaste não a influenciou significativamente. Verificou que a configuração geométrica da ponteira sulcadora vem a ser relevante, visto que o seu desgaste compromete a formação do sulco, em sua forma ideal, bem como pode representar um fator de influência nos esforços de tração.

2.11 Proteção de peças contra o desgaste por abrasão

Dados técnicos-científicos indicam muitas maneiras de se reduzir o desgaste por abrasão em elementos de máquinas. Revestimento superficial utilizando cromo duro em ferramentas foi estudado por Souza, Laboni e Coutinho (2003). Esse material proporciona elevada resistência ao desgaste, em virtude de sua dureza superficial, promovendo uma maior vida útil à ferramenta. Para que a eletrodeposição do cromo duro seja realizada é necessária a preparação da superfície, a qual deve estar lisa e isenta de imperfeições, perfeitamente limpa e desengraxada, pois devido ao seu baixo poder de cobertura o cromo duro não se deposita em poros, trincas ou pequenos defeitos superficiais.

Segundo Lima, Ferraresi e Gonçalves (2007), tradicionalmente a aplicação do revestimento duro tem sido realizada com eletrodos revestidos, entretanto a alternativa usando arames tubulares tem se tornado viável devido à alta produtividade e qualidade da solda. Os autores, avaliando a resistência ao desgaste de arames tubulares para revestimentos duros, usando liga de ferro-cromo-carbono (FeCrC), concluíram que o arame FeCrC apresentou superioridade quanto à dureza e resistência ao desgaste.

A análise do custo do material utilizado para a redução dos desgastes é importante para o cálculo da relação custo / benefício, assim como a correlação da taxa de desgaste em relação ao desempenho operacional dos equipamentos. Segundo Trevisan (2007), a lâmina de carbonitrato e cromo duro desgasta 2,7 vezes menos do que o aço, a um custo 1,7 vezes maior. Além disso, o uso de carbeto de tungstênio ou compostos de cobalto pode proteger as extremidades de corte das hastes para aumentar a sua vida útil.

Com a tecnologia disponível é possível proteger com eficiência determinado componente ou superfície exposta ao desgaste aplicando-se um revestimento. A solda, conforme Clara (2002), pode proteger a peça com a vantagem de possibilitar a redução do custo de ferramentas de máquinas. Permite a recuperação de peças desgastadas sem necessidade de substituições destas, aumentando a vida útil das ferramentas e diminuindo o tempo de paradas dos equipamentos.

Como o desgaste é um fenômeno tipicamente superficial a solda de revestimento tem sido utilizada com sucesso na diminuição do custo de fabricação de peças, na prevenção e na manutenção das desgastadas (BRANDI, 2004). Esse

recobrimento consiste na deposição de um consumível de soldagem com características diferentes do metal base, visando aumentar a resistência ao desgaste (POLIDO; GALLEGGO, 2006).

Bond, Okimoto e D'Oliveira (2005) consideram a realização do endurecimento superficial uma alternativa capaz de prolongar a vida útil de componentes. Este pode ser obtido pela aplicação de um material de revestimento duro e resistente ao desgaste na superfície de um material menos nobre, através de um processo de soldagem.

A soldagem é considerada como um método de união, porém, atualmente muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2007).

Revestimentos duros resistentes ao desgaste possuem como característica principal a sua elevada dureza. São usados quando os tipos regulares de lubrificação contra a abrasão sejam impossíveis, como em equipamentos para a agricultura. Baptista e Nascimento (s.d.) afirmaram que revestimento duro é um processo onde se produz por soldagem uma camada dura e resistente ao desgaste na superfície da peça sujeita ao dano. Pode ser aplicado de forma simples a peças novas, necessitando de varetas das ligas de recobrimento e de uma chama oxiacetilênica ou de um arco elétrico. Este processo tem a vantagem de ser aplicado em áreas localizadas da peça que sejam mais sujeitas ao desgaste. O material de recobrimento é fundido durante a soldagem e se localiza sobre o metal base, ligando-se com este, formando uma nova superfície.

Revestimentos duros, segundo ESAB (2007), são ligas na sua grande maioria a base de ferro com resistência a determinados mecanismos de desgaste, como atrito metal-metal, abrasão e impacto. Essas ligas podem conter em sua composição diferentes elementos como carbono, cromo, molibdênio, tungstênio, vanádio e nióbio, que são os responsáveis por conferir as propriedades desejadas. Em seu guia de utilização apresentou 17 eletrodos para revestimentos duros, com suas aplicações específicas, propriedades mecânicas, posições de soldagem, tensão e tipo de corrente elétrica, diâmetros e comprimentos dos eletrodos, assim como a faixa de corrente necessária para a soldagem.

O processo de soldagem para a cobertura resistente a abrasão a arco elétrico através de eletrodos revestidos, onde os elementos liga são adicionados através do revestimento, permite aplicação de camadas protetoras à ferramenta sujeita ao desgaste. É um processo muito usado, principalmente pelo fato de não precisar de equipamentos especiais (BAPTISTA; NASCIMENTO, s.d.).

Considerando o objetivo geral do trabalho que foi a seleção de uma alternativa para se aumentar a vida útil das ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras para semeadura direta, utilizando soldagem de revestimento, procurou-se sistematizar neste capítulo as principais informações para embasar o trabalho.

O início do capítulo apresentou o sistema de semeadura direta, as semeadoras adubadoras e os mecanismos sulcadores de hastes com ponteiros, assim como as forças de tração na haste e os esforços verticais e horizontais na ferramenta.

Também se buscou os principais conceitos sobre o fenômeno do desgaste, o principal tipo de desgaste que ocorre na interação solo e ferramenta que é o desgaste abrasivo, além das alternativas de soldagens de revestimentos que podem ser utilizados para se manter e prolongar a vida útil de peças.

No próximo capítulo será abordado o material e os métodos que foram utilizados para se atingir o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

3 Material e métodos

3.1 Localização da área experimental

Os testes de determinação do desgaste e sua influência nos esforços de tração das ponteiros das hastes sulcadoras foram realizados na área experimental do Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça (CAVG) pertencente à Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no município de Pelotas, RS, Brasil. A área foi localizada com um Sistema de Posicionamento Global (GPS) marca Garmin², modelo e-trex, possuindo latitude 031° 42,4964' sul, longitude 052° 18,6779' oeste (Fig. 1). Em função dos espaçamentos entre linhas das hastes da semeadora, da velocidade de deslocamento e das distâncias percorridas, foram utilizados aproximadamente 21 hectares nas quatro áreas experimentais.

Na área 1 foram realizados os testes de esforço de tração assim como desgaste e nas áreas 2, 3 e 4 apenas imposição de desgastes.

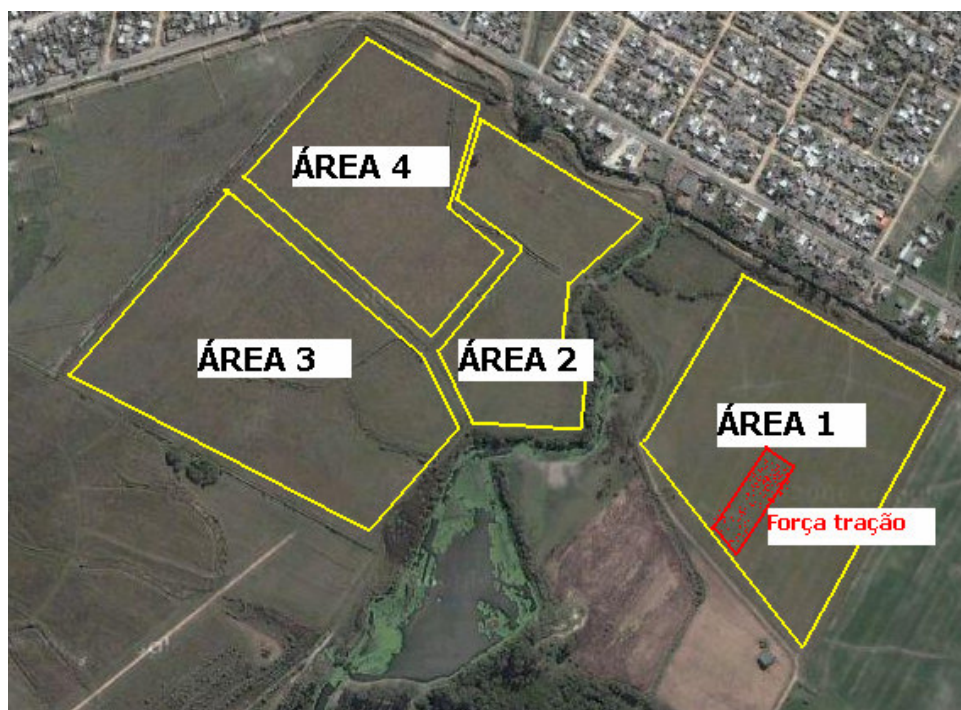


Figura 1 – Áreas experimentais dos ensaios de desgaste e esforço de tração.

² A citação de marcas e modelos comerciais não representa recomendação do autor.

3.2 Caracterização do solo

Nesta região, o tipo de solo é denominado Planossolo Hidromórfico (EMBRAPA, 1999), unidade de mapeamento Pelotas. Segundo Gomes, Cunha e Pauletto (1992) apresenta densidade natural elevada e relação micro/macroporos alta, contribuindo para dificultar a sua drenagem interna. Possui aspectos favoráveis à agricultura como facilidade de irrigação e uso de máquinas, com pouca suscetibilidade à erosão. Apresenta horizonte A pouco profundo, com predominância de textura franco-arenosa.

Em toda a área o solo permaneceu em sua condição inicial, sem preparo primário e secundário, simulando desta maneira o sistema plantio direto (Fig. 2). As parcelas onde se executou os ensaios vinham sendo utilizadas na criação extensiva de rebanho bovino.



Figura 2 – Aspecto da condição inicial da superfície do solo.

Realizou-se a avaliação da densidade do solo pelo método do anel volumétrico, até a profundidade de trabalho dos sulcadores estipulada em 90mm, sendo retiradas 8 amostras indeformadas, por parcela, num total de 32 amostras.

O teor de água do solo foi determinado através do método gravimétrico, obtendo-se os dados médios até a profundidade de 150mm. As amostras de solo foram coletadas com um trado acondicionadas em latas para pesagem e secagem

em estufa por 24 horas a 105°C, após este período foram novamente pesadas. Para esta análise coletou-se um total de 80 amostras, 20 por parcela, de forma aleatória, a fim de que cada amostra ficasse posicionada lateralmente e próxima ao ensaio de resistência à penetração.

A textura do solo foi determinada pelo método do densímetro e sua classe foi obtida através da planilha eletrônica Geotextural 2000 (NASCIMENTO et al. 2008).

Os limites superior e inferior de plasticidade e o índice de plasticidade foram avaliados pelo método de Casagrande, em 5 amostras deformadas retiradas de cada área, totalizando 20, nas quatro áreas.

As análises foram realizadas no Laboratório de Agrohidrologia da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Todos os procedimentos estão baseados e descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

Para a resistência à penetração foi utilizado um penetrômetro marca Falker, modelo PLG1020, até a profundidade de 400mm com ponteira tipo 2 e resolução das medições de profundidade de 10mm (Fig. 3). Foram realizadas 72 determinações, 18 por área, de forma aleatória.



Figura 3 – Determinação da resistência à penetração na área experimental.

3.3 Equipamento utilizado nos testes de desgaste

Para a imposição do desgaste das ferramentas foi utilizada uma semeadora adubadora marca KF, modelo 5030-A, 6 linhas espaçadas de 400mm, com mecanismo sulcador de fertilizantes tipo haste e ponteira sulcadora (Fig. 4).



Figura 4 – Semeadora adubadora utilizada nos testes.

Durante os testes de desgaste os depósitos de semente e fertilizante foram mantidos vazios e o equipamento foi regulado para ser utilizado a uma profundidade média de trabalho em 90mm, sendo esta verificada por medição direta e aleatória na linha do sulco a cada 30 minutos, através de um medidor de altura de garras de pneus agrícolas (Fig. 5). Devido à quantidade de cobertura vegetal presente na superfície do solo, foi mantido o disco de corte de palha a frente de cada haste sulcadora.



Figura 5 – Medição da profundidade do sulco.

3.4 Trator utilizado nos testes de desgaste

A fonte de potência usada foi um trator marca Valmet, modelo 880 com duas rodas motoras (2RM) e potência no motor de 59,6kW (Fig. 6). A velocidade de deslocamento do conjunto trator e semeadora adubadora foi obtida através da medida da distância percorrida na condição de trabalho e o tempo gasto para percorrê-la, para tanto realizou-se três repetições, ficando a velocidade final estimada em $6,0\text{km.h}^{-1}$. Esta velocidade foi alcançada utilizando-se a 4.^a marcha reduzida com rotação no motor do trator de 2.000rpm.



Figura 6 – Trator utilizado nas avaliações de desgaste e força de tração.

3.5 Instrumentação para a aquisição das forças horizontais e verticais

Para a avaliação da força horizontal e vertical, em função das etapas de desgaste da ponteira sulcadora, foi utilizado um equipamento específico para esta finalidade (Fig. 7), o qual se constituiu de um chassi, onde fixou-se a instrumentação desenvolvida e construída por Espírito Santo (2005).



Figura 7 – Equipamento para medição das forças horizontais e verticais.

O sistema de medição compõe-se de três células de carga “*shear beam*” (Fig. 8).

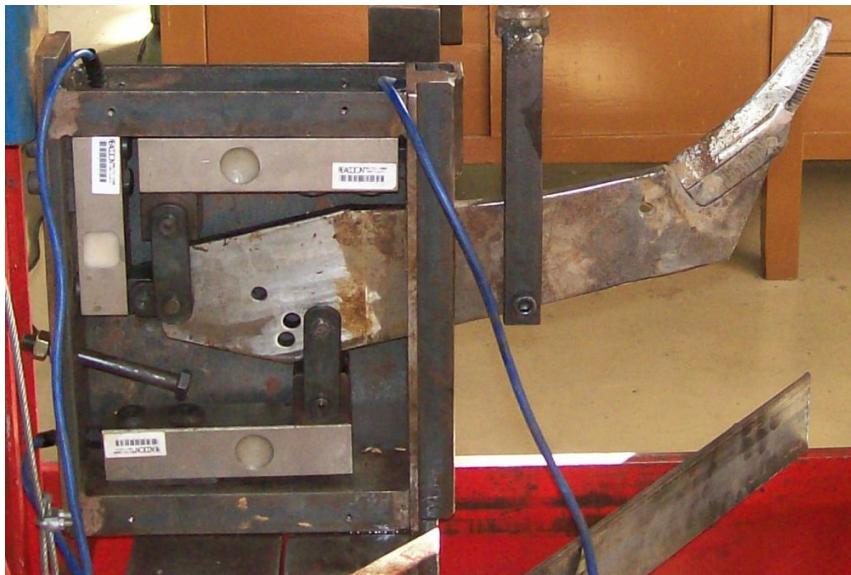


Figura 8 – Haste instrumentada com as três células de carga “*shear beam*”.

Neste equipamento (chassi) foi instalada a instrumentação para a aquisição e armazenamento de dados das forças horizontais e verticais, utilizando-se um condicionador de sinais marca Lynx, modelo AC 2122 (Fig. 9), assim como um

microcomputador portátil marca Acer, modelo 3690, para armazenamento e manipulação dos dados (Fig. 10). Empregou-se o programa AqDados 7.02.14 para a aquisição das informações e o programa AqAnalysis 7 para a análise e processamento dos sinais coletados.



Figura 9 – Condicionador de sinais e detalhe das ligações.



Figura 10 – Instrumentação de aquisição de dados e computador para armazenamento das informações.

3.6 Calibração da instrumentação de leitura de forças horizontais e verticais

Para a calibração do canal horizontal superior, horizontal inferior e vertical foi usada uma prensa hidráulica marca Skay pertencente ao laboratório do curso de Eletromecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas, RS.

Para obter-se os carregamentos sobre as células de carga utilizou-se a prensa e um manômetro padrão calibrado com capacidade de 5.884,0kPa e erro de 0,50% (Fig. 11).



Figura 11 – Prensa hidráulica e manômetro utilizado na calibração das células de carga.

A determinação da área do êmbolo da prensa hidráulica foi feita através da desmontagem da mesma e posterior medição com paquímetro do seu diâmetro, sendo a seguir calculada a sua área. As cargas foram aplicadas paralelas ao sentido de medição nas células de carga horizontal e vertical (Fig. 12).



(A)

(B)

Figura 12 – Sentido de aplicação do esforço horizontal (A) e vertical (B).

3.7 Trator utilizado nos testes de força horizontal e vertical

A fonte de potência empregada na determinação dos esforços atuantes na ponteira foi a mesma do teste de desgaste. Determinou-se a velocidade de deslocamento do conjunto trator e equipamento por meio da medição da distância percorrida e o tempo gasto para percorrê-la, com três repetições, ficando a velocidade final estimada em $1,5\text{km.h}^{-1}$, obtida por meio da utilização da 1.^a marcha reduzida e rotação de 1.500rpm no motor do trator.

3.8 Revestimento das ponteiras por soldagem

Através da análise dos desgastes determinados por Espírito Santo (2005) se observaram os pontos de maior perda de massa da ferramenta. A partir destas informações indicou-se a direção dos passes dos eletrodos de revestimento duro sobre a sua superfície, longitudinalmente ao seu eixo (Fig. 13) e transversalmente a este (Fig. 14).

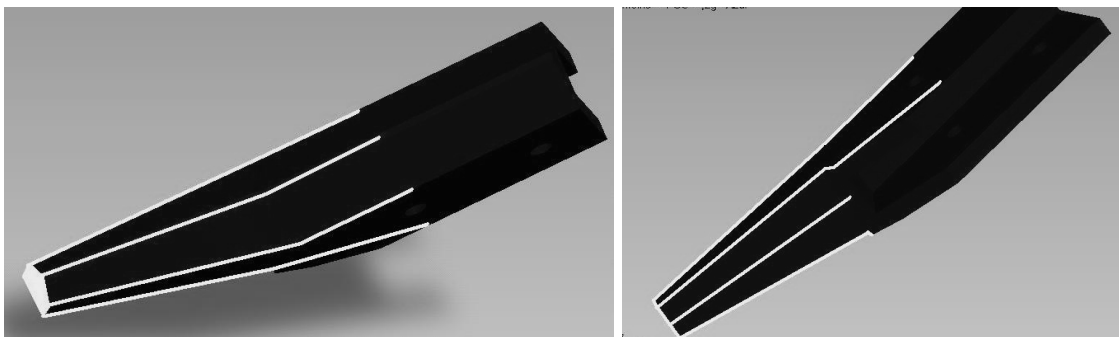


Figura 13 – Direção dos passes dos eletrodos de revestimento duro longitudinalmente ao eixo da ponteira.

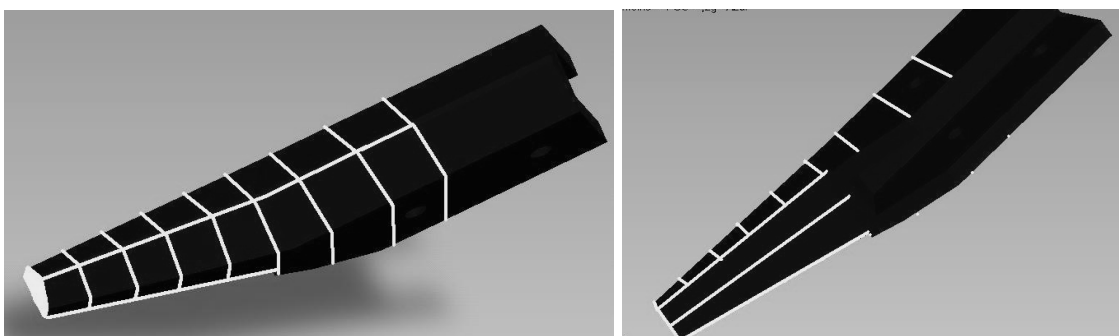


Figura 14 – Direção dos passes dos eletrodos de revestimento duro transversalmente ao eixo da ponteira.

As ponteiras foram soldadas no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento da ESAB em Belo Horizonte, Minas Gerais. Os eletrodos foram especificados pelo fabricante em função da utilização e finalidade da proteção ao desgaste da ferramenta. Os eletrodos utilizados foram: OK 68.84; OK 84.75 e OK Tubrodur 1400 (Anexo A).

Cada conjunto de 3 peças soldadas, com os mesmos eletrodos e de acordo com as duas direções de passes de cordões, foi identificado com número 1, 2, 3, 4 ou 5. Nos conjuntos 1 e 2 foi utilizada uma “almofada” ou “amanteigamento”, que consiste na deposição de uma camada de solda, na região de alto risco, com um material de alta ductilidade antes da soldagem propriamente dita, com o objetivo de se evitar a fissuração no material base (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2008). A seguir apresenta-se a descrição da soldagem de cada conjunto:

Conjunto 1 - Um passe de “almofada” com o eletrodo OK 68.84 diâmetro 2,5mm e um passe com o eletrodo OK 84.75 diâmetro 3,25mm sobreposto. Não foi feito pré-aquecimento das peças, apenas remoção de umidade no sentido de soldagem longitudinal (Fig. 15). Foram consumidas aproximadamente 2 varetas do eletrodo OK 68.84 2,5mm e 2 varetas do eletrodo OK 84.75 3,25mm para cada peça soldada.



Figura 15 – Colocação da soldagem de revestimento longitudinal do conjunto 1.

Conjunto 2 - Um passe de “almofada” com o eletrodo OK 68.84 diâmetro 2,5mm e um passe com o eletrodo OK 84.75 3,25mm sobreposto no sentido de soldagem transversal (Fig. 16). Não foi feito pré-aquecimento das peças, apenas remoção de umidade. Foram consumidas aproximadamente 3 varetas do eletrodo OK 68.84 2,5mm e 3 varetas do eletrodo OK 84.75 3,25mm para cada peça soldada.



Figura 16 – Colocação da soldagem de revestimento transversal do conjunto 2.

Conjunto 3 - Dois passes com o eletrodo OK 84.75 3,25mm, um em cima do outro, no sentido de soldagem longitudinal (Fig. 17). As peças foram pré-aquecidas a 250 °C. O procedimento consumiu aproximadamente 4 varetas do eletrodo OK 84.75 3,25mm para cada peça soldada.



Figura 17 – Colocação da soldagem de revestimento longitudinal do conjunto 3.

Conjunto 4 - Um passe com o arame tubular OK Tubrodur 1400 diâmetro 2,4mm no sentido de soldagem longitudinal (Fig. 18). As peças foram pré-aquecidas a 250°C. Foram consumidas aproximadamente 46,56 gramas do arame tubular OK Tubrodur 1400 para cada peça soldada.



Figura 18 – Colocação da soldagem de revestimento longitudinal do conjunto 4.

Os arames tubulares são utilizados para a soldagem de aços em geral, possuindo uma camada metálica fechada e um enchimento interno. A soldagem a arco com arame tubular é um processo que produz a coalescência de metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre o eletrodo tubular, contínuo, consumível e a peça de trabalho. Normalmente esta soldagem é semelhante ao processo MIG/MAG em relação a equipamentos e princípio de funcionamento. O processo arame tubular apresenta características em termos de produtividade superiores às da soldagem com eletrodos revestidos e MIG/MAG (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2007).

Conjunto 5 - Dois passes com o eletrodo OK 84.75 3,25mm um em cima do outro no sentido de soldagem transversal (Fig. 19). As peças foram pré-aquecidas a

250 °C. Foram consumidas aproximadamente 6 varetas do eletrodo OK 84.75 3,25mm para cada peça soldada.

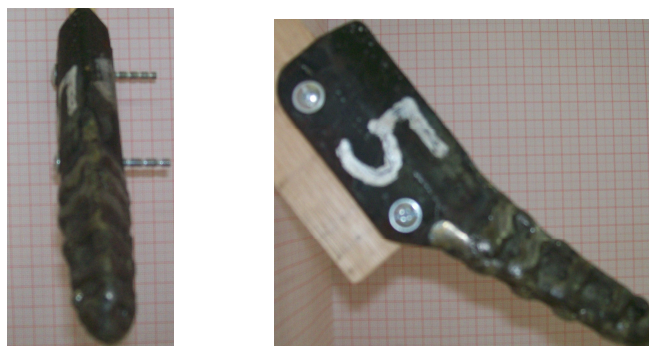


Figura 19 – Colocação da soldagem de revestimento transversal do conjunto 5.

Para a realização das soldagens os equipamentos utilizados foram: fonte retificadora ESAB LHI 425, no processo eletrodo revestido consumível e a fonte tiristorizada LAI 550 e o cabeçote alimentador de arame ESAB MEF44N no arame tubular.

Os parâmetros utilizados foram: OK 68.84 2,5mm: 70A; 24-26V. OK 84.75 3,25mm: 120A; 23-30V. OK Tubrodur 1400 2,4mm: 240A; 28V.

Conjunto 6 – Chamado de testemunha. Ponteira confeccionada em aço SAE 1060 forjado (Fig. 20) onde não foi realizado qualquer tratamento, tendo sua característica original especificada pelo fabricante.



Figura 20 – Ponteira testemunha sem soldagem de revestimento.

A composição química da ponteira testemunha está apresentada na Tab. 1 e suas características dimensionais ilustradas na Fig. 21.

Para melhor caracterização da ponteira testemunha mediu-se sua dureza superficial. O ensaio foi realizado no Laboratório de Metalurgia Física da UNISC, através de um durômetro, marca Mitutoyo, modelo 963-101 (Fig. 22). Foi utilizada a escala Rockwell A, cone de 120 graus em 24 repetições, ficando a dureza média de quatro ponteiras (Fig. 23) em 65,5HRA. Foi convertida a dureza da escala A para C através de tabela específica (norma ASTM T388-1) e obtida o valor de 30,0HRC, para comparação com a dureza dos revestimentos utilizados.



Figura 22 – Durômetro utilizado na verificação da dureza da ponteira original.

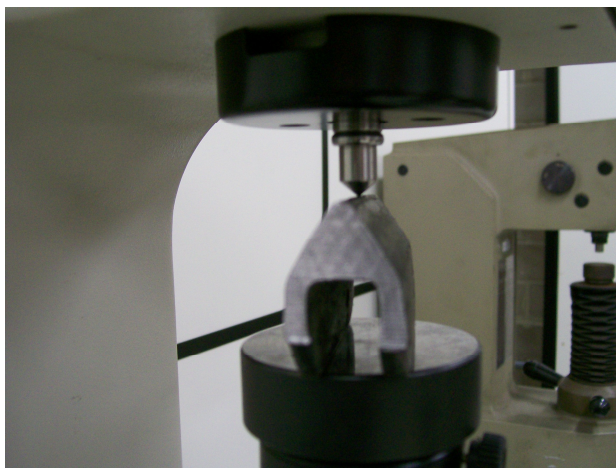


Figura 23 – Detalhe da medição da dureza da ponteira testemunha.

3.9 Avaliação do desgaste das ponteiros

As quinze ponteiros revestidas e as três testemunhas todas novas e sem desgaste foram divididas em três grupos, com seis ferramentas, proporcionando as repetições. Cada repetição foi composta por um tipo diferente de ponteiro com revestimento e uma testemunha da seguinte maneira:

Repetição 1 – Cj1; Cj2; Cj3; Cj4; Cj5 e Cj testemunha.

Repetição 2 – Cj1; Cj2; Cj3; Cj4; Cj5 e Cj testemunha.

Repetição 3 – Cj1; Cj2; Cj3; Cj4; Cj5 e Cj testemunha.

Em cada repetição as ponteiros foram sorteadas e colocadas nas hastes sulcadoras da semeadora adubadora, para a avaliação do seu desgaste, conforme a Fig. 24.

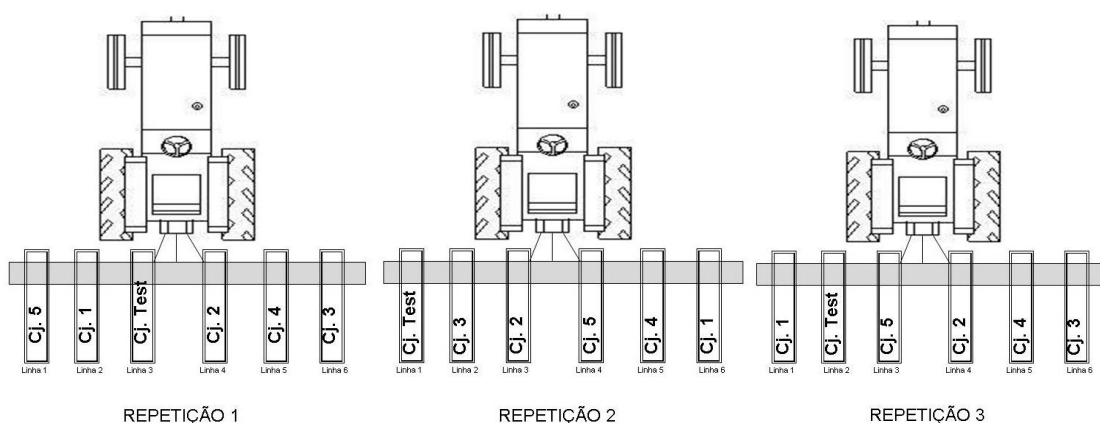


Figura 24 – Posição das ponteiros nas hastes da semeadora adubadora.

As ponteiros foram colocadas nas hastes da semeadora e utilizadas por 1,75 horas e após este período foram desmontadas, lavadas e pesadas, sendo a seguir fotografadas na parte frontal e lateral para o acompanhamento da sua variação geométrica em função do desgaste. Para tanto fixou-se em um suporte construído especificamente para esta finalidade, as ponteiros, de modo que permaneceram sempre na mesma posição (Fig. 25). O mesmo procedimento foi adotado para todas as ponteiros em todas as repetições a cada período de tempo. Realizaram-se os testes de forma que em cada repetição fosse utilizado simultaneamente 1,75 horas (Rep 1 (0h) → Rep 2 (0h) → Rep 3 (0h) → Rep 1 (1,75h) → Rep 2 (1,75h) →...),

intercalando-se as repetições, a fim de sofrerem a menor influência possível da alteração do teor de água do solo.

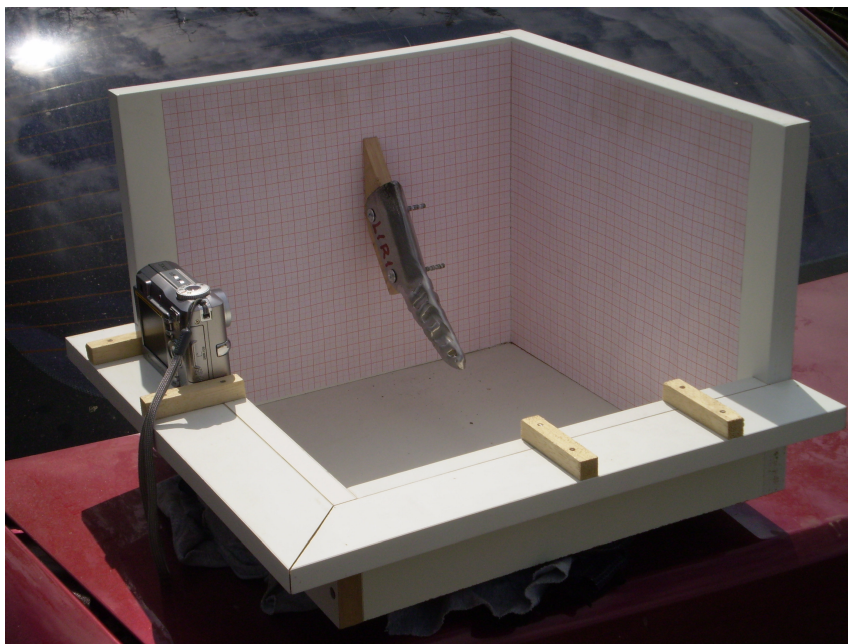


Figura 25 – Estrutura construída para fotografias digitais das ponteiros.

Mediu-se os desgastes meio de pesagem utilizando-se para isso uma balança digital marca Gehaka, modelo BK 6.600 com resolução de 0,01 grama.

3.10 Avaliação das forças horizontais e verticais atuantes nas ponteiros

Determinou-se os esforços atuantes nas ponteiros originais com adição de material de revestimento duro e na testemunha do grupo da avaliação de desgaste da segunda repetição (Fig. 24), grupo este selecionado aleatoriamente. Estas ferramentas foram colocadas individualmente e sucessivamente na instrumentação para avaliação da força horizontal superior, inferior e vertical, a uma profundidade de trabalho de 120mm.

A cada distância preestabelecida para a análise do desgaste (10,5km, 21,0km, 31,5km, 42,0km e 52,5km) as ponteiros foram retiradas da semeadora adubadora e montadas na instrumentação e coletados os sinais das forças atuantes, retornando à semeadora adubadora para nova aplicação do desgaste.

Para a aquisição dos sinais referentes aos esforços horizontal superior, inferior e vertical, foi estipulada uma taxa de aquisição de vinte dados por segundo (20Hz) e comprimento de parcela de 60 metros. Com a velocidade determinada de $1,50\text{km.h}^{-1}$ obteve-se um tempo de aquisição de aproximadamente 120 segundos, o que proporcionou um sinal a cada 20mm lineares de sulco e 2.400 sinais obtidos em cada ponteira para cada nível de desgaste. Na análise dos sinais coletados para a determinação dos esforços, utilizaram-se os tempos de aquisição de 30 segundos até 90 segundos em cada parcela, totalizando 1.200 dados das forças horizontal superior, inferior e vertical para cada elemento.

Para a obtenção das forças atuantes sobre as ponteiras procedeu-se conforme o cálculo indicado por Espírito Santo (2005), utilizando-se as equações:

$$FHp = RH.\cos \alpha - FV.\sin \alpha$$

$$FVp = RH.\sin \alpha + FV.\cos \alpha$$

e

$$RH = FHs - Fhi$$

Onde:

FHp = Força horizontal sobre a ponteira sulcadora (kN);

FVp = Força vertical sobre a ponteira sulcadora (kN);

RH = Resultante das respostas das células de carga posicionadas verticalmente (kN);

FV = Resposta da célula de carga posicionada horizontalmente (kN);

α = Ângulo de inclinação da haste sulcadora ($^{\circ}$);

FHs = Resposta da célula de carga posicionada verticalmente (kN);

FHi = Resposta da célula de carga posicionada verticalmente (kN).

3.11 Delineamento experimental e análises estatísticas

Para o experimento de desgaste foram utilizados cinco revestimentos duros sobre as ponteiros novas originais e uma testemunha totalizando 6 tratamentos, em cinco distâncias (10,5km, 21,0km, 31,5km, 42,0km e 52,5km), com três repetições. As variáveis de resposta foram as perdas de massa (percentagem em relação à massa inicial). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado e para cada nível de desgaste foi feita a análise de variância (ANOVA) e o coeficiente de variação do experimento. As estimativas do contraste entre médias foram realizadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Para o experimento dos esforços de tração foram utilizados cinco revestimentos duros sobre as ponteiros novas originais e uma testemunha, em seis taxas de desgaste (zero km; 10,5km; 21,0km; 31,5km; 42,0km e 52,5km) com três repetições, sendo obtidas 400 respostas por repetição. Após a aquisição das informações foi calculado, com auxílio da planilha eletrônica Excel³ as forças horizontais, verticais e resultante. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado e para cada nível de desgaste fez-se à análise de variância e o coeficiente de variação. As estimativas do contraste entre médias foram realizadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

3.12 Avaliação da eficiência operacional do revestimento

Avaliou-se a viabilidade técnica das soldagens de revestimento propostas através do estudo da eficiência operacional.

Na avaliação operacional se determinou o tempo de produção consumido exclusivamente no trabalho produtivo, incluindo aquele em que os órgãos ativos da máquina efetivamente realizam a operação agrícola, assim como o tempo de manobra e de parada para a troca das ponteiros.

A capacidade de campo teórica (CcT) foi determinada através da medição da distância entre linhas e o número de linhas e a estimativa da velocidade de deslocamento teórica para o implemento considerado (MIALHE, 1974).

³ Marca registrada Microsoft.

$CcT = \text{largura de trabalho} \times \text{velocidade de deslocamento}$

A capacidade de campo efetiva (CcE) representa a capacidade efetivamente demonstrada pela máquina no campo (MIALHE, 1974).

$$CcE = \text{Área trabalhada} \times \text{tempo de produção}^{-1}$$

A eficiência de campo teórica (ηcT) é um parâmetro que indica as perdas provenientes do não aproveitamento integral da capacidade operacional da maquinaria (MIALHE, 1974).

$$\eta cT = (CcE \times CcT^{-1}) \times 100$$

Comparou-se a eficiência de campo efetiva, a capacidade de campo efetiva e a área trabalhada no tempo de vida útil da ponteira testemunha e dos cinco tipos com revestimento.

Neste capítulo foram apresentados o material e os métodos utilizados para realizar o trabalho, buscando caracterizar a área experimental utilizada no experimento, os equipamentos e formas para sua caracterização. Também foram relacionadas informações sobre o trator, a semeadora e o equipamento para obtenção da força horizontal e vertical, os parâmetros empregados nas determinações dos esforços e teste de desgaste. A análise estatística dos dados foi definida, assim como a forma da análise da eficiência operacional.

No próximo capítulo apresentam-se os resultados e a discussão dos dados obtidos com a metodologia utilizada.

4 Resultados e discussão

4.1 Calibração do dispositivo de medição de esforços horizontais e verticais

Para a calibração da instrumentação foi utilizada a recomendação de aferição de células de carga por regressão linear do fabricante Lynx com três repetições.

Aplicaram-se forças para a calibração dos canais horizontal superior, inferior e vertical onde foram ligados os sensores e obtiveram-se os valores em Volts correspondentes com correlações de 99,72%, 98,27% e 99,85% respectivamente (Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C). As equações de regressão foram:

Horizontal superior: $y = 357541x + 89271$

Horizontal inferior: $y = 235331x + 52130$

Vertical: $y = 284378x + 28883$

As Figuras 26, 27 e 28 indicam os gráficos das calibrações dos canais.

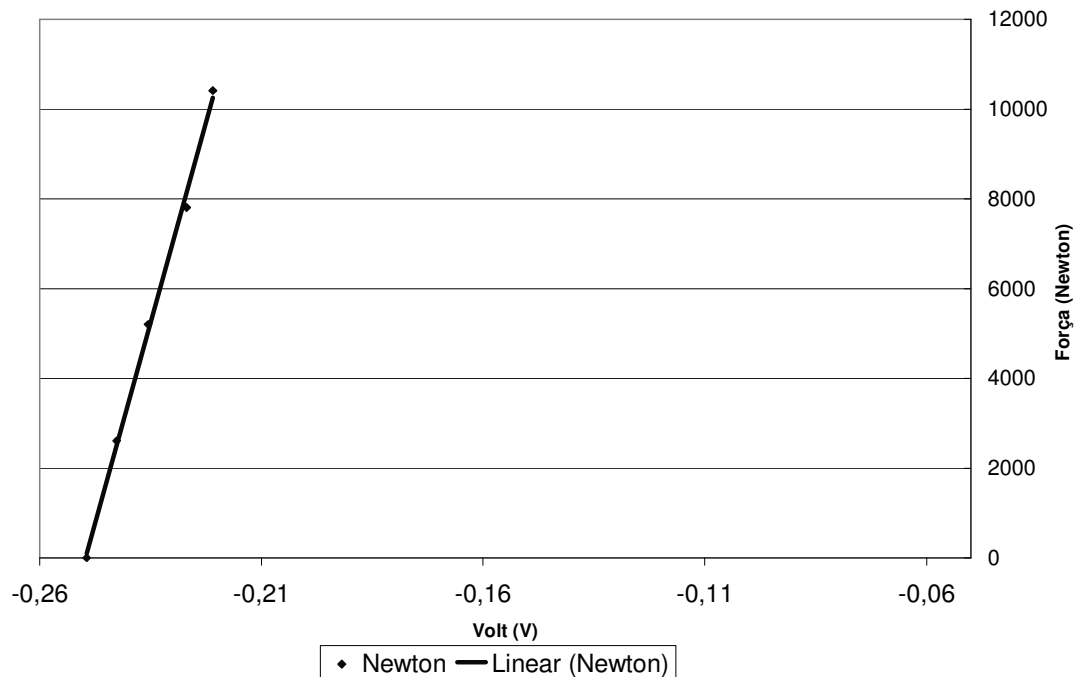


Figura 26 – Gráfico de calibração da célula de carga do canal horizontal superior.

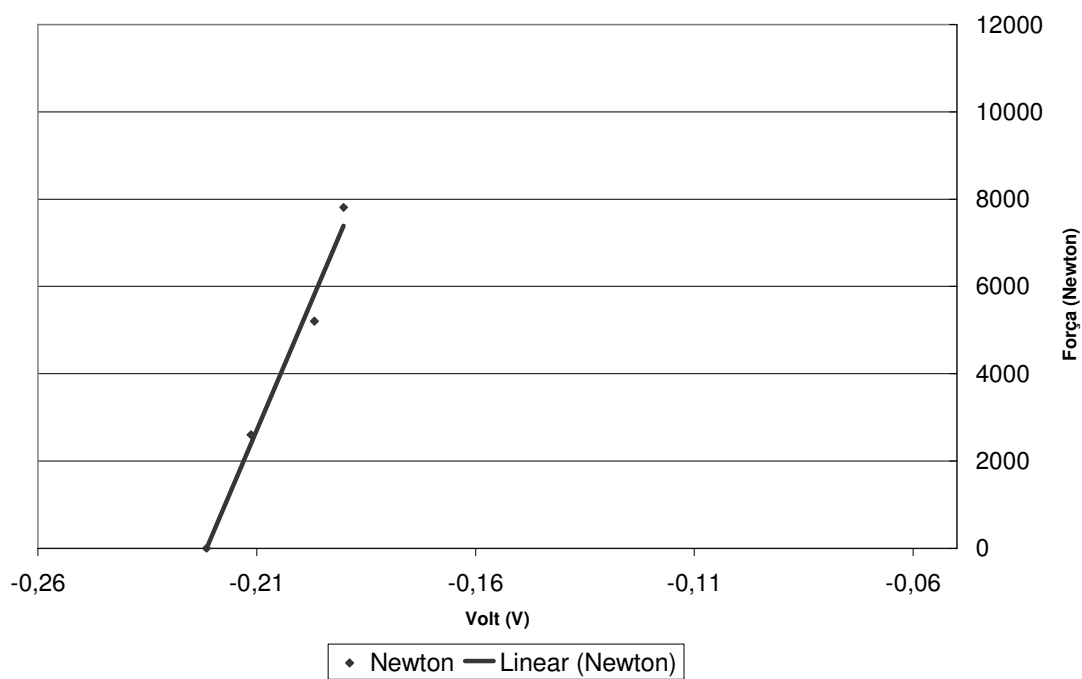


Figura 27 – Gráfico de calibração da célula de carga do canal horizontal inferior.

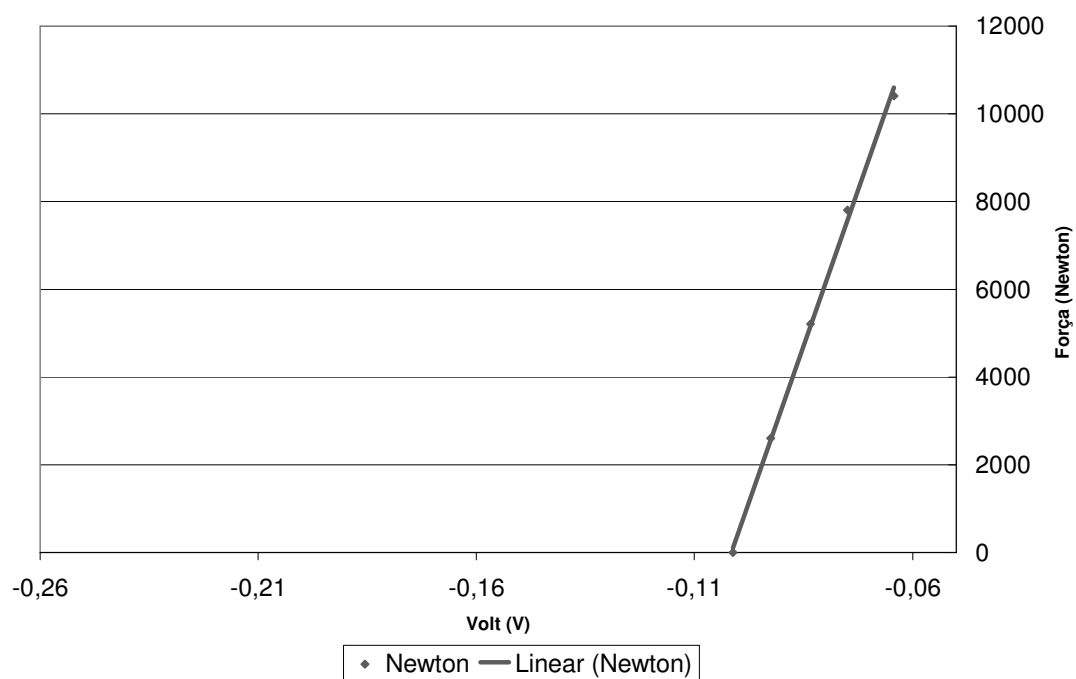


Figura 28 – Gráfico de calibração da célula de carga do canal vertical.

4.2 Características do solo

Foi analisada a textura, densidade e os limites de Atterberg do solo da área dos experimentos e seus resultados médios encontram-se na Tab. 2.

Tabela 2 – Características físicas do solo das áreas utilizadas.

Parâmetro	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Textura (kg.kg^{-1})				
Argila	0,146	0,189	0,236	0,220
Silte	0,306	0,217	0,236	0,150
Areia	0,549	0,594	0,528	0,531
Densidade (kg.m^{-3})				
Densidade	1.780	1.710	1.710	1.690
Consistência (g.100g^{-1})				
Limite superior de plasticidade	19,7	18,1	19,7	19,9
Limite inferior de plasticidade	14,5	15,2	15,9	16,8
Índice de plasticidade	5,2	2,9	3,8	3,1

De acordo com os dados da Tab. 2 o solo das quatro áreas estudadas apresenta $197,53\text{g.kg}^{-1}$ de argila, $227,23\text{g.kg}^{-1}$ de silte e $550,28\text{g.kg}^{-1}$ de areia em média. Utilizando o programa Geotextural 2000, pode-se classificá-lo como franco-arenoso (NASCIMENTO et al., 2008). A densidade do solo, em todas as áreas, foi alta sendo seu valor médio de 1.723kg.m^{-3} , superior as encontradas por Machado (2001) e Espírito Santo (2005), os quais trabalharam em solo semelhante, este fato pode ser explicado pela presença da criação de bovinos de forma extensiva com lotação duas vezes maior do que a recomendada.

4.3 Teor de água no solo e resistência à penetração

Os valores da resistência à penetração e teor de água apresentados na Tab. 3 são os dados médios obtidos durante as diversas etapas do trabalho realizado a campo.

Tabela 3 – Valores médios de resistência à penetração e teor de água do solo.

Profundidade (mm)	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área FT
Resistência à penetração média (kPa)					
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	443	438	629	626	420
40	829	1.063	1.474	2.009	754
60	1.134	1.500	1.723	2.709	1.070
80	1.332	1.861	1.682	2.998	1.308
100	1.542	2.220	1.730	2.993	1.569
120	1.624	2.437	1.832	2.741	1.652
140	1.711	2.896	1.865	2.893	1.694
160	1.737	3.105	1.850	2.599	1.707
180	1.826	3.151	1.939	2.629	1.852
200	1.800	2.692	1.796	2.656	1.876
220	1.689	2.627	1.545	2.664	1.741
240	1.655	2.609	1.524	2.768	1.716
260	1.607	2.735	1.557	2.718	1.650
280	1.586	2.472	1.626	2.597	1.614
300	1.632	2.417	1.776	2.490	1.579
Teor de água (g.kg ⁻¹)	17,6	16,3	16,6	14,0	17,6

Através dos dados obtidos (Tab. 3) foram elaborados os gráficos de resistência à penetração média do solo das áreas, conforme a Fig. 29.

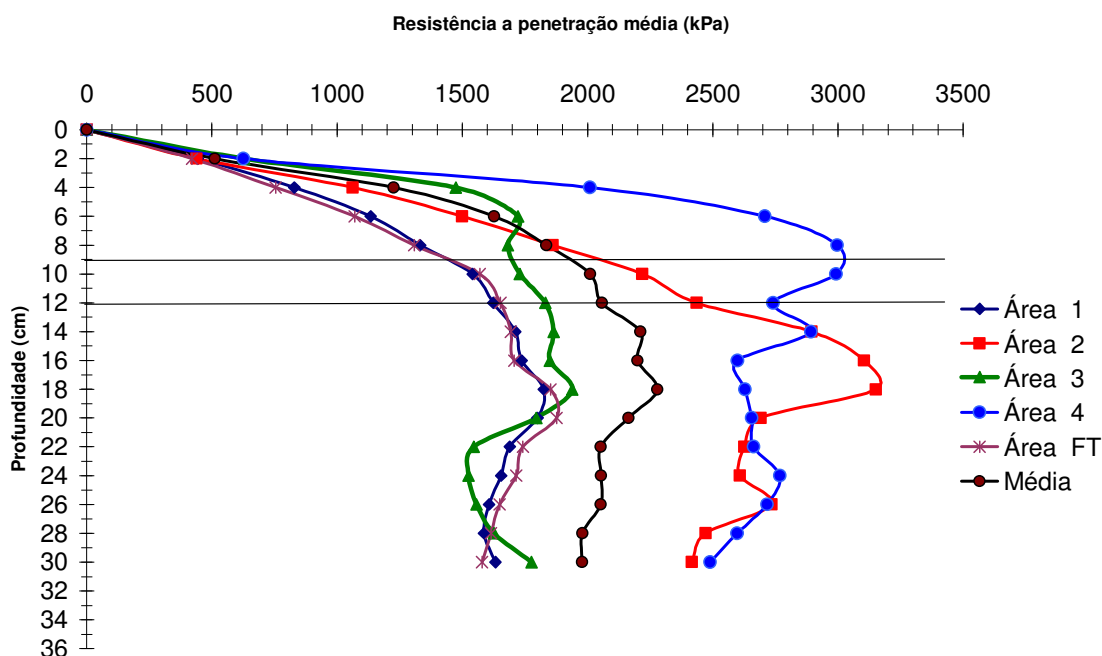


Figura 29 – Resistência à penetração média das áreas experimentais.

Considerando-se que os testes de desgaste e força de tração foram realizados a uma profundidade média de 90mm e 120mm, respectivamente, e analisando a Tab. 3 e a Fig. 29, verifica-se que o solo da área 1, nesta faixa de profundidade, apresenta resistência à penetração inferior às demais áreas 2, 3 e 4. O solo da área 4 revelou, na profundidade de 120mm em média 2.993kPa, sendo superior as demais áreas 3, 2 e 1 em aproximadamente 48%, 26% e 42%, respectivamente. O solo onde foi realizado o esforço de tração apresentou resistência à penetração semelhante ao da área 1. Nas condições gerais dos testes, em média, a resistência a penetração ficou em 2.000kPa, nas profundidades de trabalho dos sulcadores.

Os teores de água no solo entre as áreas foram semelhantes, com exceção da área 4, que apontou um valor 17% menor. Isso pode ser explicado devido ao fato de que nesta área foram realizadas as últimas avaliações de desgaste e de coleta de amostras, com intervalo entre a área inicial e a final do trabalho de 8 dias, sem a ocorrência de chuvas significativas.

4.4 Perda de massa das ponteiros sulcadoras

A evolução da perda de massa das ponteiros sulcadoras revestidas e a testemunha em função da distância percorrida estão apresentadas na Tab. 4.

Tabela 4 – Evolução da perda de massa das ponteiros em gramas em função da distância percorrida

Repetição	Linha	Conjunto	Distância percorrida (km)					
			0	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5
			Massa da ponteira (gramas)					
1	1	5	446,19	430,75	413,26	400,00	375,84	345,66
	2	1	428,67	403,59	373,75	348,86	310,40	272,38
	3	Testemunha	376,91	347,96	315,53	288,57	253,61	221,27
	4	2	435,84	416,08	395,72	369,55	331,34	298,49
	5	4	429,57	417,53	401,36	388,59	371,14	350,49
	6	3	439,70	421,08	398,67	382,96	355,70	327,36
2	1	Testemunha	395,70	370,17	346,24	313,00	280,03	253,76
	2	3	430,09	413,50	391,63	364,68	333,05	307,18
	3	2	443,51	431,32	415,61	393,54	368,35	347,76
	4	5	434,69	430,00	411,57	383,61	348,19	320,01
	5	4	415,80	406,10	393,38	377,25	356,86	338,61
	6	1	435,42	409,71	391,15	364,53	334,18	316,64
3	1	1	416,25	388,01	358,51	328,91	293,12	273,08
	2	Testemunha	383,86	354,70	323,44	292,34	258,27	237,67
	3	5	444,83	423,90	408,94	393,42	370,07	355,76
	4	2	419,53	399,21	379,95	348,51	309,38	286,42
	5	4	382,18	366,45	351,92	338,88	320,74	307,73
	6	3	413,60	393,74	374,60	354,54	327,05	307,04

A Fig. 30 apresenta o desgaste acumulado médio dos conjuntos de ponteiros nos deslocamentos realizados.

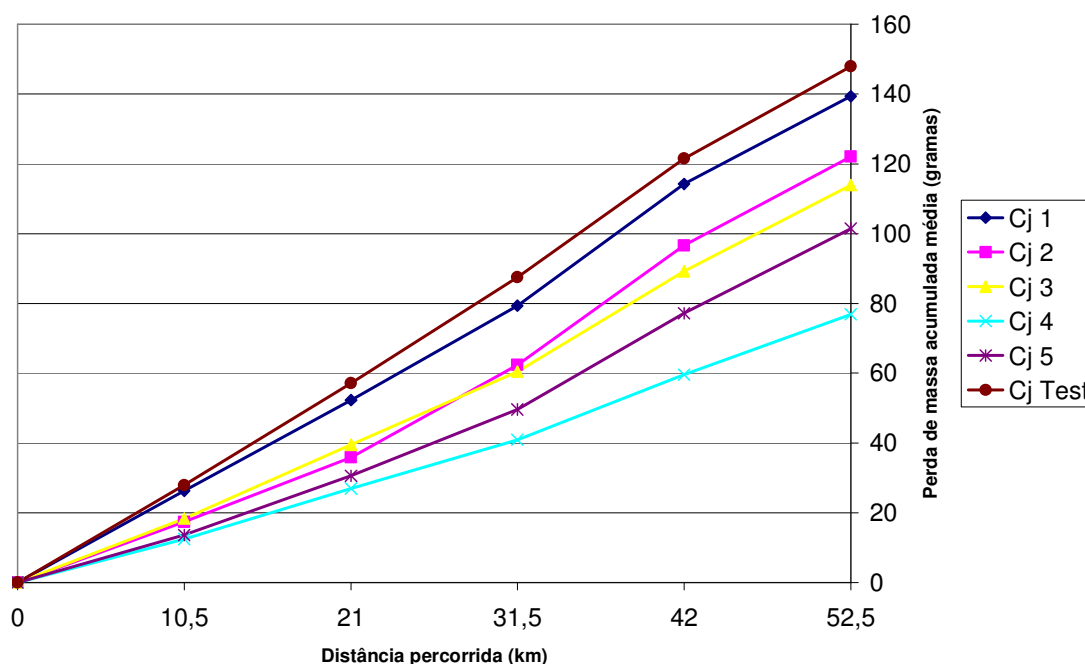


Figura 30 – Perda de massa acumulada em gramas por conjunto em função do deslocamento realizado.

A Fig. 30 mostra que a perda de massa acumulada das ponteiros sempre cresceu à medida que realizaram o sulco no solo, sendo que, quanto maior as distâncias percorridas maiores as diferenças entre os conjuntos revestidos e a testemunha. Esta por não ter nenhum tipo de proteção contra a abrasão obteve as maiores redução de massa entre os avaliados em todos os deslocamentos realizados enquanto o conjunto 4 obteve as menores.

Através da análise da Tab. 4 e da Fig. 30 observa-se que o desgaste médio das ponteiros se comportou em duas fases distintas, até o deslocamento de 31,5km e após este, onde os desgastes se mostraram mais acentuados de forma semelhante às informações obtidas por Espírito Santo (2005). Conforme este autor a ponteira testemunha sendo de fabricação com aço forjado SAE 1060 induz somente a uma resistência ao desgaste superficial diferente do núcleo da ferramenta. Após atingir os 31,5km de sulco as ponteiros perderam esta parte de maior resistência e favoreceu o aumento na perda de massa. As demais ferramentas, com exceção do conjunto 4, também se desgastaram de forma mais acentuada a partir dos 31,5km,

mas com taxas menores do que a testemunha. A soldagem de revestimento proporcionou mais quantidade de material e de maior dureza superficial sobre as ponteiros e quando atingiu os 31,5km esta superfície foi perdida e estando o solo com o metal base sem proteção aumentou a taxa de desgaste. O conjunto 4 se comportou de forma diferente, com as menores taxas de desgaste até o limite do teste com 52,5km pelo envolvimento total da extremidade da ferramenta pela camada de revestimento e até este deslocamento ainda permanecia sobre a ponteira, não atingindo o material de construção da peça.

Com o objetivo de se determinar a massa da ponta e do suporte, que é parte fixada à haste, uma ponteira original sem revestimento e as três repetições da testemunha, utilizadas até a distância final do experimento de desgaste (52,5km), foram comparadas em relação as suas massas (Tab. 5). Para isto foram pesadas e cortadas (Fig. 31) no Laboratório de Processos de Fabricação da UNISC e novamente pesadas, levando em consideração desta maneira, o material perdido no processo de corte da peça. A seguir foi calculada a porcentagem de massa nas duas partes da ponteira.

Tabela 5 – Distribuição da massa das ponteiros sulcadoras testemunhas nas três repetições com 52,5km de deslocamento e original

Características	Repetição 1		Repetição 2		Repetição 3		Original	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Massa total	221,27	100,0	253,76	100,0	237,67	100,0	380,94	100,0
Perda no corte	1,63	0,7	1,93	0,8	1,69	0,7	3,45	0,9
Massa da ponta	35,43	16,0	44,54	17,6	37,16	15,6	134,61	35,3
Massa do suporte	184,21	83,3	207,29	81,6	198,82	83,7	242,88	63,8

De acordo com a Tab. 5 a ponteira original sem desgaste apresenta a massa da ponta de 35,8% e do suporte de 64,2% da massa total. Considerando-se que a média das três repetições da massa da ponta e do suporte após o deslocamento de 52,5km é de 39,0g e 196,8g respectivamente, pode-se afirmar que a ponta perdeu 81,0% e o suporte 19,0% da sua massa original.

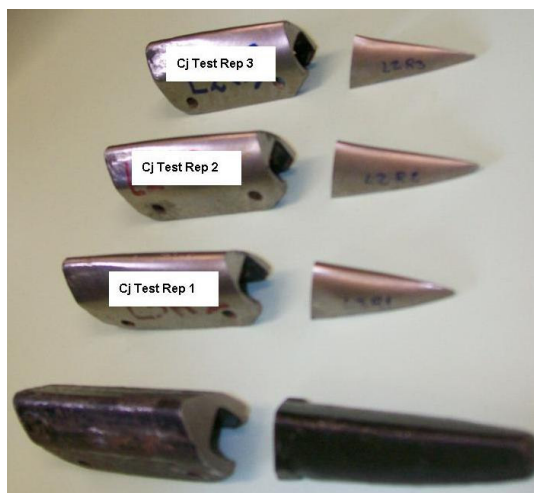


Figura 31 – Corte das ponteiros testemunha com 52,5km de deslocamento e original para determinação da porcentagem de massa da ponta e suporte.

Para completar a análise todas as ponteiros foram fotografadas na sua parte posterior, quando atingiu 52,5km de deslocamento (Fig. 32) com o objetivo de se analisar o desgaste desta parte da ferramenta.



Figura 32 – Parte posterior das ponteiros com 52,5km de deslocamento.

Observa-se na Fig. 32 o baixo desgaste do material soldado depositado neste local, o que evidencia os maiores desgastes na parte frontal e na ponta da ferramenta.

De acordo com este estudo comprova-se a importância de se prolongar a durabilidade da extremidade frontal da ponteira. Além disso, o revestimento por

soldagem pode ser colocado na face posterior até a metade da ponta, reduzindo os custos de confecção da peça.

A Tab. 6 apresenta a evolução da perda de massa em porcentagem em relação ao seu peso inicial em função da distância percorrida. O conjunto testemunha foi considerado como referência para os testes dos demais conjuntos revestidos.

Tabela 6 – Evolução da perda de massa, em porcentagem, das ponteiros em relação ao peso inicial na distância percorrida

Repetição	Linha	Conjunto	Distância percorrida (km)					
			0	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5
			Perda de massa da ponteira em relação a inicial (%)					
1	1	5	0	3,46	7,38	10,35	15,77	22,53
	2	1	0	5,85	12,81	18,62	27,59	36,46
	3	Testemunha	0	7,68	16,29	23,44	32,71	41,29
	4	2	0	4,53	9,21	15,21	23,98	31,51
	5	4	0	2,80	6,57	9,54	13,60	18,41
	6	3	0	4,23	9,33	12,90	19,10	25,55
2	1	Testemunha	0	6,45	12,50	20,90	29,23	35,87
	2	3	0	3,86	8,94	15,21	22,56	28,58
	3	2	0	2,75	6,29	11,27	16,95	21,59
	4	5	0	1,08	5,32	11,75	19,90	26,38
	5	4	0	2,33	5,39	9,27	14,18	18,56
	6	1	0	5,90	10,17	16,28	23,25	27,28
3	1	1	0	6,78	13,87	20,98	29,58	34,40
	2	Testemunha	0	7,60	15,74	23,84	32,72	38,08
	3	5	0	4,71	8,07	11,56	16,81	20,02
	4	2	0	4,84	9,43	16,93	26,26	31,73
	5	4	0	4,12	7,92	11,33	16,08	19,48
	6	3	0	4,80	9,43	14,28	20,93	25,76

De acordo com a Tab. 6 o conjunto testemunha perdeu em todas as distâncias percorridas a maior massa em relação aos revestidos e com 52,5km, 41,29%, 35,87% e 38,08% da sua massa inicial nas repetições 1, 2 e 3 respectivamente, desta forma, na média do experimento a redução final da massa ficou em 38,41% da inicial. De forma contrária o conjunto revestido 4 perdeu menos em todo o teste, em média 18,82% da sua massa inicial e os conjuntos 1, 2, 3 e 5 reduziram em média 32,71%, 28,28%, 26,63% e 22,98% com 52,5km de sulco realizado. Estas informações indicam que o revestimento sobre as ferramentas proporciona maior durabilidade, reduzindo o desgaste por abrasão, concordando com as afirmações de Brandi (2004) e Bond, Okimoto e D'Oliveira (2005).

A Fig. 33 apresenta a porcentagem de perda de massa, na média das três repetições, em relação à massa original das ponteiros em função das distâncias percorridas no experimento de desgaste.

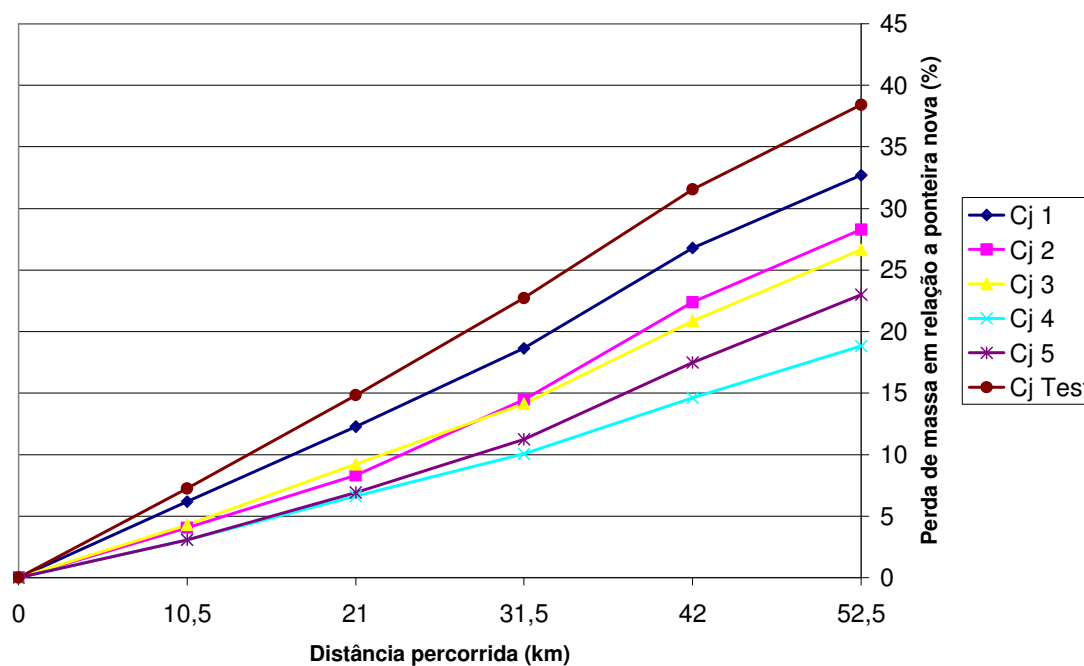


Figura 33 – Evolução da perda de massa em porcentagem em relação à massa inicial dos conjuntos.

De acordo com a Fig. 33, a perda de massa da testemunha obteve em todas as distâncias percorridas as maiores taxas de desgaste, com uma perda de aproximadamente 35% em relação à massa inicial com a distância percorrida de

45,0km e a ponteira com revestimento de arame tubular (conjunto 4) obteve a menor porcentagem de desgaste com 18,8%, no mesmo espaço percorrido e as demais ferramentas apresentaram perdas intermediárias a estes valores. No trabalho realizado por Espírito Santo (2005) a testemunha mostrou um desempenho semelhante a este trabalho onde, em 9 horas de trabalho (45,0km), perdeu cerca de 40% da massa original. A alternativa com material ADI (Ferro Fundido Nodular Austemperado) atingiu um desgaste de aproximadamente 21% da massa original no mesmo período de tempo (percurso).

Considerando as menores taxas de perdas de massa em relação a original que foram os obtidos pelos conjuntos 4 e 5 e comparando com as encontradas por Espírito Santo (2005) com as ponteiros em ADI se pode afirmar que as alternativas propostas por este trabalho apresentaram os mesmos desgastes. A vantagem da soldagem de revestimento é não ser necessária à construção de uma nova ferramenta, mas para isso deve-se ter acesso aos equipamentos para a realização da soldagem, sendo assim, uma boa alternativa para o aumento da vida útil da peça.

A análise da variância, o coeficiente de variação do experimento e os valores do teste F das perdas de massa em relação à massa inicial das ponteiros encontram-se na Tab. 7.

Tabela 7 – Análise estatística das perdas de massa em relação à massa inicial dos conjuntos

Conjunto	Distância percorrida (km)				
	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5
Perda de massa em porcentagem (%)					
Testemunha	7,243 a	14,842 a	22,727 a	31,554 a	38,416 a
1	6,180 ab	12,283 ab	18,627 ab	26,807 ab	32,711 ab
2	4,042 bc	8,310 bc	14,468 bc	22,393 bc	28,277 bc
3	4,298 bc	9,234 bc	14,131 bc	20,864 bcd	26,630 bc
4	3,084 c	6,626 c	10,047 c	14,618 d	18,818 c
5	3,082 c	6,922 c	11,220 c	17,491 cd	22,979 bc
CV (%)	22,4	16,1	11,9	12,6	12,9
F	8,02	12,92	20,59	14,46	11,23
F 5%	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11

Observação: Médias com mesmo índice não diferem significativamente pelo teste de Tuckey 5%.

O experimento apresentou média precisão, conforme postulado por Storck e Lopes (1997) com coeficiente de variação médio de 15,18%. De acordo com o teste F, em todos os deslocamentos realizados, pode-se afirmar que o teste foi significativo ao nível de 5% de probabilidade e os tratamentos possuem efeitos diferentes sobre a perda de massa em relação à inicial. Observa-se que as soldagens de revestimento realizadas possuem efeitos diferentes sobre a perda de massa das ponteiros em todas as distâncias percorridas.

Através da análise da Tab. 7, conclui-se que para todos os deslocamentos estudados o conjunto testemunha não diferiu do 1, mesmo fato ocorrendo entre os conjuntos 2, 3, 4 e 5, mas estes foram diferentes da testemunha e do conjunto 1. A ponteira testemunha e a do conjunto 1 apresentam desgaste significativo em relação às ponteiros dos conjuntos 2, 3, 4 e 5.

De acordo com a análise estatística e comparando-se estes resultados com um dos objetivos do trabalho que foi analisar, entre cinco alternativas de deposição do material soldável, quatro aumentam a vida útil das ponteiros em relação à testemunha. Isto permite uma maior variedade de posições de soldagem, longitudinal ou transversal ao eixo da ferramenta, assim como os materiais de revestimentos que podem ser empregados, eletrodos revestidos ou arame tubular.

A Fig. 34 indica as linhas de tendência das perdas de massa, em relação a inicial das ponteiros revestidas e da testemunha, nas distâncias percorridas.

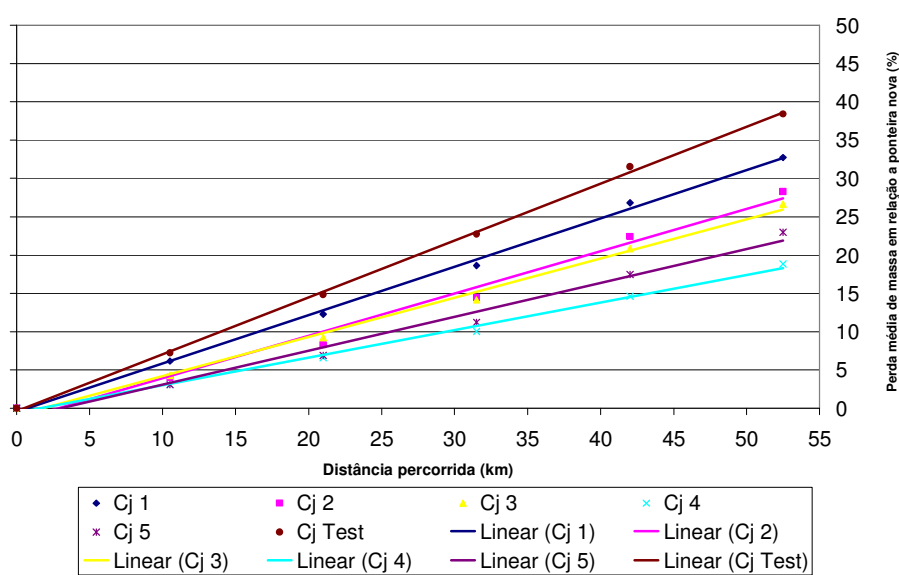


Figura 34 – Linhas de tendência da evolução da perda de massa em relação à massa inicial dos conjuntos.

De acordo com a Fig. 34, as linhas de tendência que mais se ajustaram aos dados obtidos foram as lineares. As equações e seu grau de correlação estão mostradas na Tab. 8.

Tabela 8 - Conjunto de ponteiras, equação de regressão e graus de correlação, onde y é a perda de massa em porcentagem e x é a distância percorrida em quilômetros.

Conjuntos de ponteiras	Equação	Grau de correlação
1	$y = 0,6307x - 0,4544$	$R^2 = 0,9978$
2	$y = 0,5513x - 1,5561$	$R^2 = 0,9855$
3	$y = 0,5109x - 0,8842$	$R^2 = 0,9942$
4	$y = 0,3595x - 0,5713$	$R^2 = 0,9951$
5	$y = 0,4420x - 1,3191$	$R^2 = 0,9842$
Testemunha	$y = 0,7426x - 0,3626$	$R^2 = 0,9991$

Conforme a Fig. 34 e a Tab. 8 observa-se que as equações lineares das linhas de tendência apresentaram um elevado grau de correlação o que significa que o desgaste dos conjuntos e da testemunha se comportou de forma linear durante os testes realizados, desta forma pode-se inferir que as equações simulam de forma precisa o comportamento referente ao desgaste das ponteiras e podem ser utilizadas para análise de prospectivas com distâncias maiores do que as utilizadas no experimento.

Com as equações da Tab. 8 foram realizadas prospectivas dos demais conjuntos soldados de forma que também ocorresse uma redução das massas iniciais e os resultados encontram-se na Tab. 9. Esta apresenta a distância atingida pelas ponteiras com o uso dos revestimentos quando estas atingiriam 38,41% de perda de massa em relação a original, o aumento da distância e a porcentagem de aumento do deslocamento proporcionado pela soldagem em relação à testemunha.

Tabela 9 – Porcentagem de aumento da vida útil da ponteira em função do revestimento utilizado

Conjuntos de ponteiras	Desgaste em relação à massa original	Distância percorrida com 38,41% de desgaste da ponteira	Aumento da distância proporcionado pela soldagem em relação à testemunha	Porcentagem de aumento da vida útil da ponteira em relação à testemunha
	(%)	(km)	(km)	(%)
1	38,41	61,0	8,5	16,4
2	38,41	72,8	20,3	38,8
3	38,41	77,2	24,7	47,3
4	38,41	108,7	56,2	107,7
5	38,41	90,2	37,7	72,2
Testemunha	38,41	52,5	-	-

Conforme a Tab. 9, a ponteira testemunha atingiu 38,41% de perda da sua massa inicial quando percorreu 52,5km. Utilizando-se o conjunto 4, este se deslocou 56,2km além dos 52,5km da testemunha totalizando 108,7km para se atingir a perda de massa de 38,41% da original. Para as demais ferramentas se procedeu o cálculo de forma semelhante e os revestimentos proporcionaram distâncias percorridas de 61,0km, 72,8km, 77,2km, 90,2km e 108,7km respectivamente aos conjuntos 1, 2, 3, 5 e 4.

Também foi calculada a porcentagem dos aumentos nas distâncias proporcionados pelos revestimentos em relação à testemunha. Observa-se que houve um acréscimo de 16,4% quando utilizado o revestimento do conjunto 1 até 107,7% quando usado o conjunto 4.

Comparando-se estes resultados com o objetivo do trabalho que foi o de analisar, entre cinco alternativas de deposição do material soldável, aquela que permite maior aumento na vida útil da ponteira, o conjunto 4, utilizando o arame tubular, apresentou as menores taxas de desgaste e a maior distância percorrida até atingir o limite da sua vida útil.

A Fig. 35 indica a perda de massa média ocorrida pelas ponteiras revestidas e a testemunha em todo o estudo de desgaste, até a distância de 52,5km.

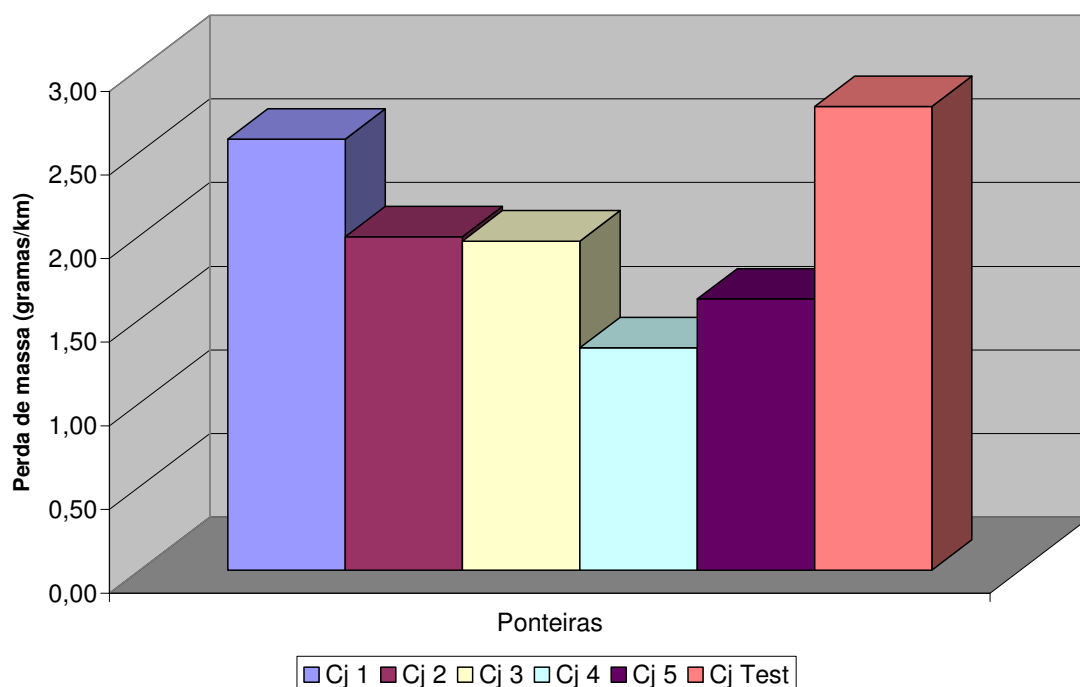


Figura 35 – Perda de massa média em gramas por quilômetro até a distância de 52,5km.

As informações apresentadas completam as da Fig. 30, Fig. 33 e Fig. 34, onde os mesmos comportamentos das ferramentas foram encontrados. Os maiores desgastes foram das ponteiras testemunha e conjunto 1, respectivamente com $2,77\text{g.km}^{-1}$ e $2,58\text{g.km}^{-1}$, e os menores dos conjuntos 5 e 4 com de $1,62\text{g.km}^{-1}$ e $1,33\text{g.km}^{-1}$. Os conjuntos 2 e 3 obtiveram desempenhos semelhantes nas condições dos testes perdendo 1,99 e 1,97 gramas para cada quilômetro de sulco realizado.

4.5 Alterações da geometria das ponteiras

As alterações da geometria das ponteiras revestidas e testemunha foram acompanhadas através das fotografias digitais em função da distância percorrida e nas 3 repetições foram obtidas 108 fotos laterais e 108 frontais, totalizando 216 (Apêndices D ao U). Com o objetivo de mostrar o estado inicial (0,0km), intermediário (31,5km) e final (52,5km) da lateral das ferramentas, em função do revestimento realizado, apresentam-se as Figuras 36 a 41.

As Figuras 36, 37 e 38 expõem a lateral das ponteiros dos conjuntos 1, 2 e 3 novas, com desgaste intermediário e final do percurso avaliado.

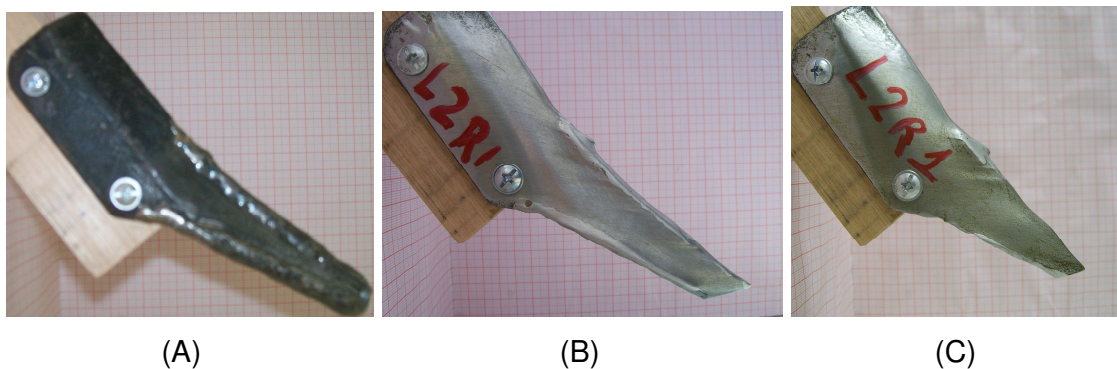


Figura 36 – Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 1 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).

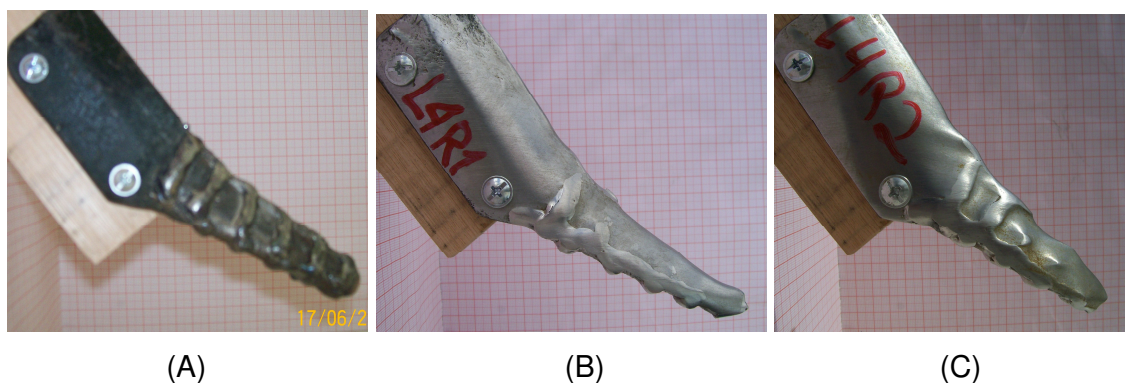


Figura 37 – Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 2 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).

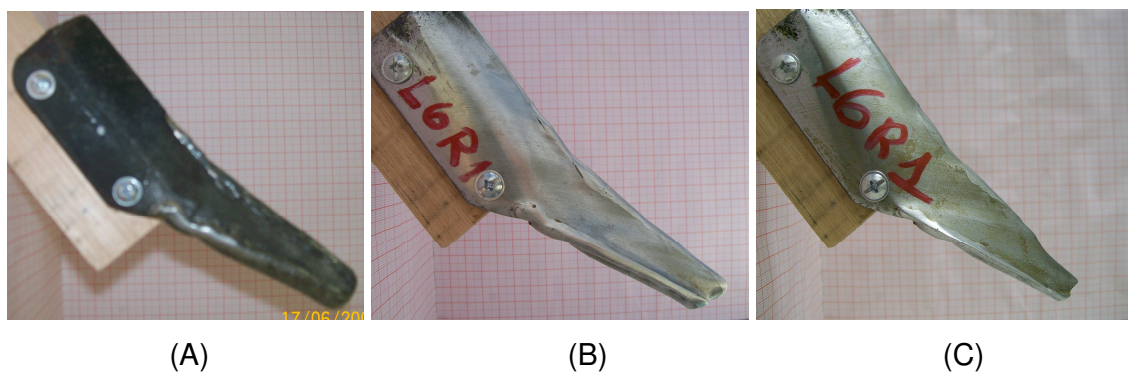


Figura 38 – Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 3 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).

Observa-se através destas três figuras (Fig. 36, 37 e 38) um elevado desgaste da extremidade frontal da ferramenta, com a perda do revestimento e também do material base de fabricação da peça, entretanto estes resultados, conforme a Tab. 7, não se mostraram significativamente diferentes entre si.

Nas Figuras 39 e 40 estão apresentadas às ponteiros revestidas dos conjuntos 4 e 5 e a evolução do desgaste.

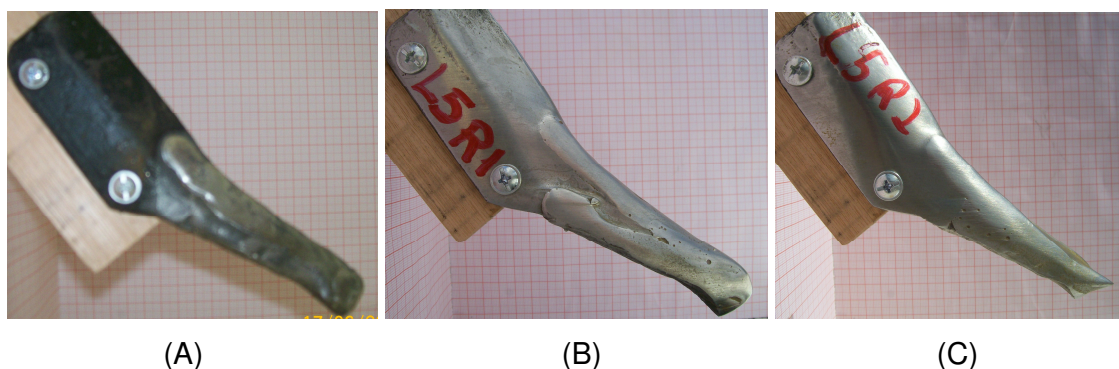


Figura 39 – Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 4 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).

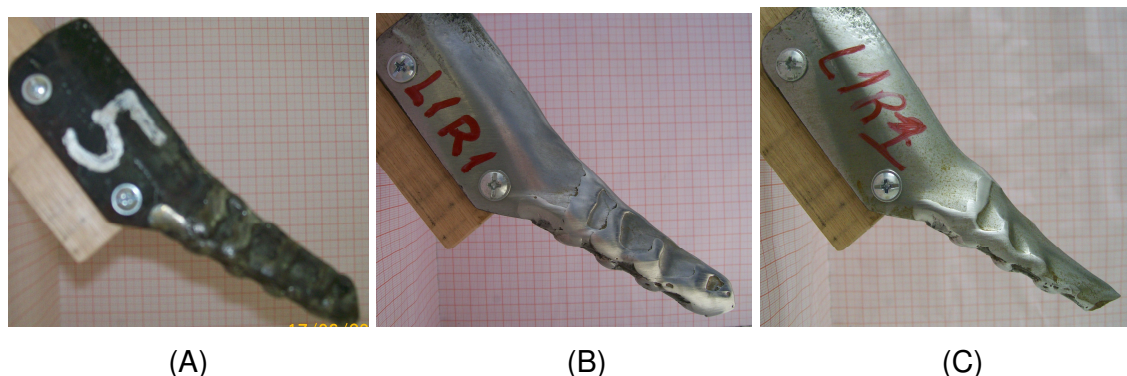


Figura 40 – Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto 5 com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).

Por meio das Figuras 39 e 40 nota-se uma maior conservação da geometria entre as ferramentas avaliadas, indicando conseqüentemente a menor perda de massa como provado na Tab. 6 e Fig. 33. Na Fig. 39 observa-se que o revestimento com arame tubular colocado na extremidade da ponteira, mesmo no final do deslocamento estudado de 52,5km, ainda permanece protegendo o material de construção da peça. Na Fig. 40, embora seja a ferramenta com a segunda menor

perda de massa entre as avaliadas se apresenta mais desgastada do que o arame tubular (Fig. 39).

Na Fig. 41 se apresenta a ponteira testemunha e a evolução da sua geometria com o desgaste.

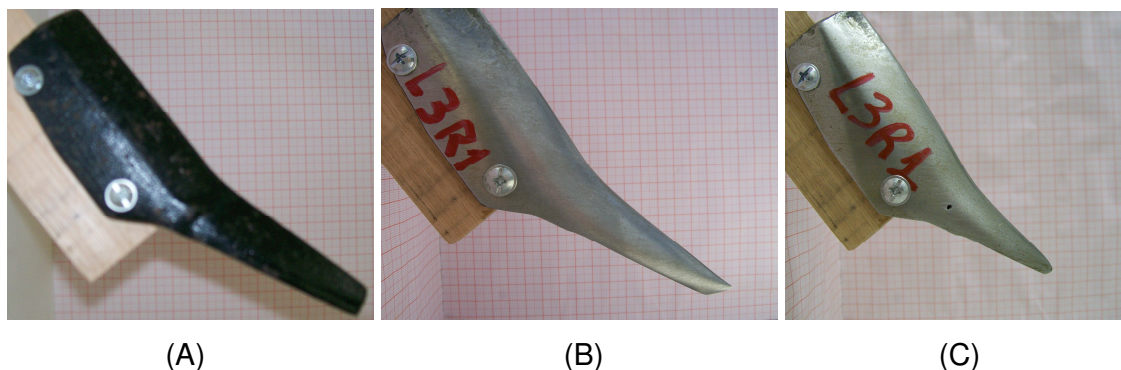


Figura 41 – Evolução da geometria lateral da ponteira do conjunto testemunha com 0,0km (A), 31,5km (B) e 52,5km (C).

Observa-se neste caso (Fig. 41), a ocorrência do maior desgaste entre as ponteiros avaliadas em todos os deslocamentos, provado na Tab. 6 e Fig. 33. De acordo com a Tab. 5 foi demonstrado que, no final dos testes com 52,5km de sulco, restou apenas 19% da massa da extremidade da ferramenta.

4.6 Força de tração na ponteira sulcadora

Após a construção do equipamento específico para determinação das forças horizontais e verticais na ponteira (Fig. 7), se fez necessário a determinação do ângulo de inclinação da haste e ângulo de ataque da ferramenta (Fig. 42) a fim de se utilizar as equações propostas por Espírito Santo (2005).

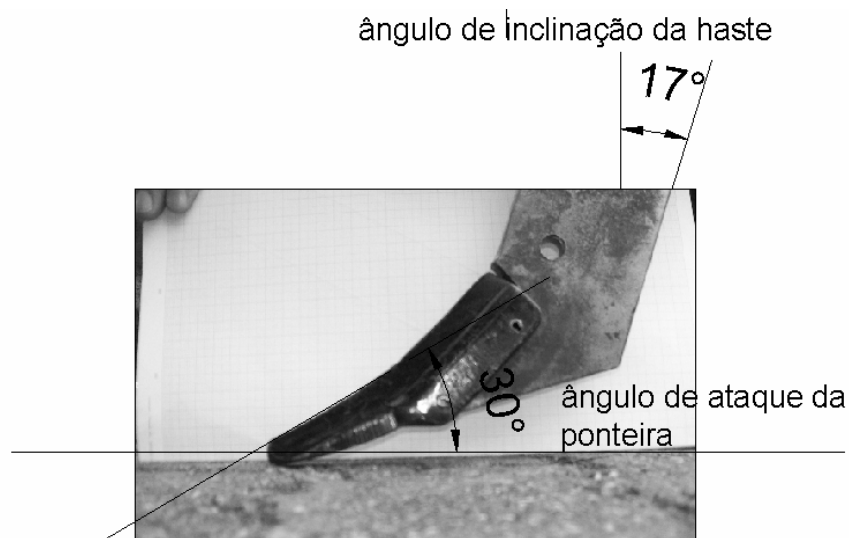


Figura 42 – Ângulo de inclinação da haste e de ataque da ponteira.

O ângulo de inclinação da haste em relação a vertical foi de 17° , o qual foi utilizado no cálculo das forças na ponteira nas diversas determinações. O ângulo de ataque da ponteira em relação a horizontal foi de 30° .

A força horizontal superior, inferior e vertical foi obtida pela instrumentação com as ponteiros novas revestidas e testemunha sem desgaste e também após cada etapa da distância percorrida especificada (a cada 10,5km). Este procedimento foi realizado para se verificar a existência de variação nos esforços verticais e horizontais sobre as ponteiros devido à adição do revestimento, ao longo de sua vida útil.

De acordo com as forças adquiridas, por meio da utilização da instrumentação anteriormente citada, foram utilizadas as equações para se determinar os esforços verticais e horizontais na ponteira. Os resultados médios se encontram na Tab. 10, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 10 – Força vertical e horizontal média calculada na ponteira, desvio padrão e coeficiente de variação entre 0,0km e 52,5km⁴

Conjuntos	Parâmetros	Distância percorrida (km)											
		0,0		10,5		21,0		31,5		42,0		52,5	
		Força vertical ponteira	Força horizontal ponteira	Força vertical ponteira	Força horizontal ponteira	Força vertical ponteira	Força horizontal ponteira	Força vertical ponteira	Força horizontal ponteira	Força vertical ponteira	Força horizontal ponteira	Força vertical ponteira	Força horizontal ponteira
1	Média (N)	-432,98	1.137,03	-68,13	1.140,58	-32,19	1.030,02	-270,36	1.163,93	-25,20	1.009,64	-85,61	1.045,22
	σ (N)	125,29	138,79	154,47	171,75	177,82	168,22	205,86	195,25	218,67	194,87	150,36	138,54
	CV (%)	28,94	12,21	226,74	15,06	552,34	16,33	76,15	16,77	867,73	19,30	175,64	13,25
2	Média (N)	-180,40	1.077,45	-432,98	1.137,03	-18,16	899,18	-224,33	1.075,81	-19,70	959,16	-249,16	1.093,54
	σ (N)	126,72	146,42	125,29	138,79	112,91	121,32	162,03	200,22	135,19	122,69	187,58	167,03
	CV (%)	70,24	13,59	28,94	12,21	621,77	13,49	72,23	18,61	686,12	12,79	75,29	15,27
3	Média (N)	-199,97	1.008,75	-92,26	968,13	-97,00	981,12	-311,62	1.162,51	-257,79	1.192,69	-351,36	1.217,94
	σ (N)	184,58	166,73	142,89	135,08	139,71	127,34	177,48	183,15	203,81	169,52	224,51	201,43
	CV (%)	92,30	16,53	154,88	13,95	144,04	12,98	56,95	15,75	79,06	14,21	63,90	16,54
4	Média (N)	-120,00	1.032,37	-83,93	1.060,26	-66,50	975,69	-191,56	1.094,91	-118,28	1.045,93	-241,68	1.180,04
	σ (N)	155,95	172,29	136,98	149,30	156,42	150,07	153,56	140,16	164,30	138,05	163,68	133,13
	CV (%)	129,96	16,69	163,19	14,08	235,22	15,38	80,16	12,80	138,90	13,20	67,72	11,28
5	Média (N)	-240,75	1.065,45	-0,58	995,77	48,47	894,82	0,10	937,77	7,84	988,95	-36,56	919,16
	σ (N)	131,20	125,46	126,69	131,78	159,07	175,16	142,45	158,42	163,94	150,41	105,99	102,93
	CV (%)	54,50	11,78	21705	13,23	328,20	19,57	144.821	16,89	2090,73	15,21	289,95	11,20
Testemunha	Média (N)	-175,15	930,76	-38,17	1.001,19	-21,44	982,94	-137,76	995,16	6,98	963,26	44,08	779,22
	σ (N)	134,54	116,09	114,82	118,75	119,55	128,08	124,84	97,90	106,36	84,71	162,75	199,42
	CV (%)	76,81	12,47	300,78	11,86	557,60	13,03	90,62	9,84	1.522,8	8,79	369,19	25,59

⁴ Força vertical negativa indica sentido da componente vertical para baixo ↓.

De acordo com a Tab. 10, a componente vertical na ponteira foi menor do que a horizontal e heterogênea (coeficiente de variação médio de 144,36%), mas esta componente contribuiu somente com 11%, da força resultante. A componente horizontal foi homogênea (coeficiente de variação médio de 14,49%) indicando boa representatividade, sendo este o principal fator para a determinação da força de tração e responsável, na média dos testes, por aproximadamente 89% desta, ficando estes valores próximos aos encontrados por Casão Junior et al. (2000), mas inferiores aos encontrados por Espírito Santo (2005) no Planossolo a 120mm de profundidade com ponteiras novas e desgastadas e Germino e Benez (2006) que utilizaram hastes sulcadoras comerciais com 9mm de espessura, ponteira de 28mm de largura e ângulo horizontal de 50° no Nitossolo Vermelho Distroférico a esta mesma profundidade.

Como a componente horizontal foi homogênea e contribuiu com 89% da força resultante se procedeu à análise estatística (ANOVA) desta força e os resultados se encontram na Tab. 11.

Tabela 11 – Análise estatística da força horizontal em relação à distância percorrida

Conjuntos	Deslocamento (km)					
	0,0	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5
Força horizontal média na ponteira (kN)						
1	1,137 a	1,141	1,030	1,164	1,010 b	1,045 ab
2	1,077 ab	1,137	0,899	1,076	0,959 b	1,094 ab
3	1,009 ab	0,968	0,981	1,163	1,193 a	1,218 a
4	1,032 ab	1,060	0,976	1,095	1,046 ab	1,180 a
5	1,065 ab	0,996	0,895	0,938	0,989 b	0,919 b
Testemunha	0,931 b	1,001	0,983	0,995	0,963 b	0,779 c
CV (%)	5,94	5,89	8,16	8,63	6,42	7,96
F	3,82	3,11ns	1,37 ns	2,88 ns	5,27	11,99
F 5%	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11	3,11

Observação: Médias com mesmo índice não diferem significativamente pelo teste de Tuckey 5%.

O experimento apresentou alta precisão, conforme Storck e Lopes (1997) com coeficiente de variação médio de 7,17%.

Observa-se na Tab. 11 que a força horizontal para as ponteiros novas (0,0km), em todos os revestimentos proporcionaram um maior esforço em relação à testemunha, mas estes não diferiram entre si.

Desta forma, com ferramentas novas, os revestimentos aumentaram a força horizontal nas cinco alternativas de adição do material soldável em relação à testemunha e pode ser explicado pelo aumento da largura da ponteira conforme Sánchez-Girón et al. (2005).

De acordo com o teste F, nos deslocamentos entre 10,5km e 31,5km, se pode afirmar que o teste não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade e os tratamentos não possuem efeitos diferentes sobre a força horizontal na ponteira. Conclui-se que as soldagens de revestimento realizadas não possuem efeitos diferentes sobre estas forças entre os referidos deslocamentos. Embora as ponteiros revestidas estivessem com uma maior largura, nestes deslocamentos intermediários, os esforços semelhantes podem ser atribuídos ao elevado teor de água das parcelas.

Nos deslocamentos a partir dos 42,0km, o teste F foi significativo ao nível de 5% de probabilidade e desta maneira os tratamentos possuem efeitos diferentes sobre a força horizontal. Conclui-se que as soldagens de revestimento possuem efeitos diferentes sobre esta força.

Com a distância percorrida de 42,0km os conjuntos 3 e 4 apresentaram as maiores forças horizontais, diferindo significativamente dos conjuntos 1, 2, 5 e testemunha.

As ponteiros trabalhando 52,5km mostraram que os conjuntos 1, 2, 3 e 4 continuaram a ter as maiores forças horizontais diferindo dos demais conjuntos. O conjunto testemunha apresentou a menor força horizontal, mesmo com a maior variação geométrica entre as ponteiros estudadas.

Analisando a evolução das forças horizontais em todo o experimento, observa-se que o conjunto 4 obteve os maiores esforços, podendo ser explicado pela menor taxa de desgaste e menor variação geométrica das ponteiros, consequentemente, mantendo a sua característica funcional que foi realizar o sulco com profundidade uniforme no solo.

O conjunto testemunha sempre apresentou as menores forças horizontais desde novas até o deslocamento de 52,5km. Isto pode ser explicado pela menor largura da ferramenta e pela maior variação geométrica, frontal e lateral da peça. Após 42,0km apresentou a tendência de reduzir a força horizontal, de encontro com os resultados de Espírito Santo (2005). Mesmo com o mecanismo de compensação da profundidade da semeadora promovendo o aprofundamento do suporte da ponteira que é a sua parte mais larga, a redução da geometria frontal da extremidade pode ter contribuído para a menor força horizontal com desgastes mais acentuados.

O comportamento dos esforços horizontais com a evolução dos desgastes foi caracterizado de maneira geral no experimento de forma que os todos os conjuntos não diferiram entre si até a distância de 31,5km. A partir de 42,0km não houve uma tendência uniforme dos esforços, com exceção da testemunha, provavelmente pelo teor de água em alguns pontos da parcelas fazendo com que não fossem homogêneas.

4.7 Avaliação do ritmo operacional em função dos desgastes

Avaliou-se a capacidade operacional do sistema semeadora-ponteiras e como o desgaste destas influencia a eficiência de campo teórica, capacidade de campo efetiva e área trabalhada pelos conjuntos na vida útil das ferramentas. No estudo foi considerada a velocidade de deslocamento do trator-semeadora em $6,0\text{km.h}^{-1}$, com largura de trabalho teórica de 2.400mm, desta forma sendo a capacidade de campo teórica foi calculada como sendo $1,44\text{ha.h}^{-1}$.

O tempo de troca das ponteiras foi determinado diretamente no campo através da medição com cronômetro, em média demorou-se uma hora, para a troca de todos os conjuntos de ponteiras, quando da utilização de uma pessoa para a execução desta tarefa. Os resultados da análise do desempenho operacional encontram-se apresentados na Tab. 12. A avaliação foi feita levando-se em consideração que durante a simulação da tarefa de semeadura não houve perda de tempo com manobras, reparos, manutenção, enchimento dos depósitos de semente e fertilizantes. Para o cálculo da eficiência de campo teórica somente as perdas de tempo com a troca das ponteiras foram consideradas.

Tabela 12 – Análise da capacidade operacional do trator e semeadora em função do revestimento sobre a ponteira

Conjunto	Distância percorrida com 38,41% de desgaste ponteira ⁵	Vida útil	Capacidade de campo teórica (CcT) na vida útil	Tempo total (vida útil + 1 hora para troca ponteiras)	Eficiência de campo teórica (somente com troca ponteiras)	Capacidade de campo efetiva (CcE)	Capacidade de campo efetiva (CcE) na vida útil
	(km)	(horas)	(ha)	(horas)	(%)	(ha.h ⁻¹)	(ha)
4	108,7	18,1	26,0	19,1	94,8	1,36	24,7
5	90,2	15,0	21,6	16,0	93,7	1,35	20,2
3	77,2	12,8	18,5	13,8	92,8	1,34	17,1
2	72,8	12,1	17,4	13,1	92,4	1,33	16,1
1	61,0	10,1	14,6	11,1	91,0	1,31	13,3
Testemunha	52,5	8,75	12,6	9,8	89,7	1,29	11,3

De acordo com as informações da Tab. 12 e observando os conjuntos de maior e menor vida útil nota-se que o conjunto 4 percorreria a distância de 108,7km até atingir a perda de massa de 38,41%, enquanto que a testemunha atingiu este percentual de desgaste com 52,5km.

A vida útil das ponteiras foi calculada dividindo-se a distância a ser percorrida pela velocidade de deslocamento, que para o conjunto 4, ficou em 18,1 horas e para a testemunha 8,75 horas. Com isso a capacidade de campo teórica calculada entre os dois conjuntos foi de 26,0ha e 12,6ha e a capacidade de campo efetiva foi de 24,7ha e 11,3ha para os conjuntos 4 e testemunha, respectivamente.

As capacidades de campo teóricas e efetivas durante a vida útil de todos os conjuntos estão apresentadas na Fig. 43.

⁵ Informações apresentadas na Tab. 9.

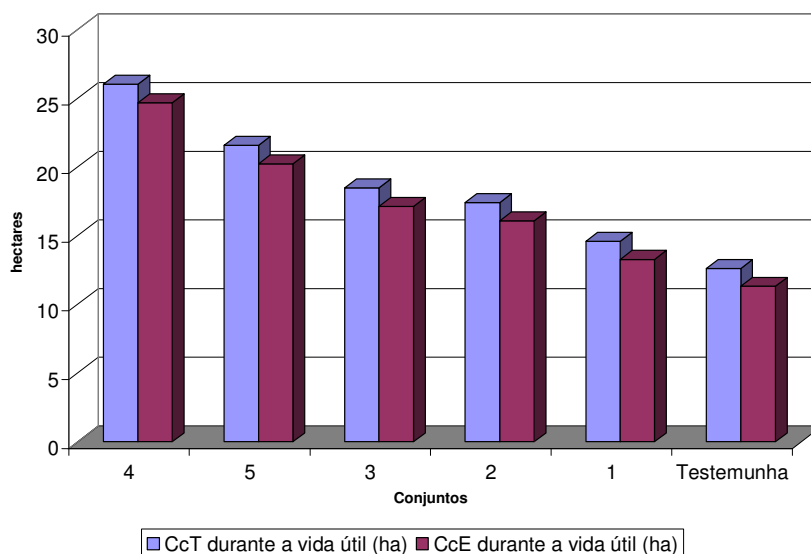


Figura 43 – Comparação da CcT e da CcE durante o tempo de vida útil das ponteiros.

Com as informações obtidas pela Tab. 12 e representadas na Fig. 43, nota-se que ao utilizar-se as ponteiros revestidas, conforme o que foi estabelecido para o conjunto 4 se conseguirá sulcar 13,4ha a mais em relação às ponteiros testemunhas até se atingir 38,41% da perda da massa inicial.

A Fig. 44 indica graficamente as eficiências de campo teóricas em função do revestimento das ponteiros.

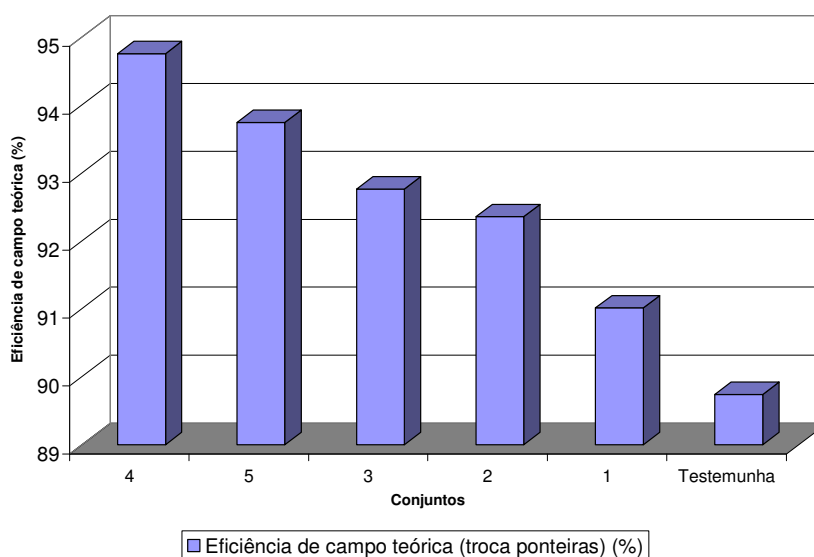


Figura 44 – Eficiência de campo teórica em função do tipo de ponteira.

Através da Fig. 44 observa-se que a diferença entre o conjunto 4 e a testemunha, foi de 5,1%.

Com estes resultados verifica-se que é possível aumentar a vida útil das ponteiros de sulcadores de semeadoras adubadoras através da adição de material soldável na extremidade frontal da ponteira, local este, mais sujeito a abrasão. Desta forma consegue-se a manutenção da geometria da ferramenta por um maior período de tempo e conservando-se os esforços de tração sobre as ponteiros, assim como a sua característica original, de realizar um sulco no solo em profundidade e formato uniformes.

Prolongando o período de vida útil da ferramenta, consegue-se o aumento da eficiência durante a tarefa de semeadura. Também se obtém a redução dos custos diretos com a compra de ponteiros novas, além de se aumentar a segurança do operador, visto que não havendo necessidade de trocas freqüentes de ponteiros os trabalhadores ficam menos exposto as partes inferiores da semeadora, correndo menor risco de sofrer acidentes.

As duas principais indicações da soldagem de revestimento para as ponteiros sulcadoras são sugeridas abaixo, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos necessários para a realização do processo:

Opção 1 – Soldagem com arame tubular – Conjunto 4 (Fig. 45)

Um passe com o arame tubular diâmetro 2,4mm. Pré-aquecimento de 250°C nas peças. Sentido de soldagem longitudinal, procurando recobrir toda a superfície frontal da ponteira e na parte posterior até metade da sua extensão. Utilizar a fonte tiristorizada e cabeçote alimentador de arame. Parâmetros de soldagem: 240A; 28V.



Figura 45 – Recomendação da posição de revestimento com arame tubular.

Opção 2 – Soldagem com eletrodos revestidos – Conjunto 5 (Fig. 46)

Dois passes com o eletrodo OK 84.75 3,25mm um em cima do outro. Pré-aquecimento de 250°C nas peças. Sentido de soldagem transversal. Soldar a parte posterior até a metade de sua extensão. Utilizar a fonte retificadora. Parâmetros de soldagem: 120A; 23-30V.



Figura 46 – Recomendação da posição de revestimento com eletrodo revestido.

5 Conclusões

A vida útil estimada da ponteira testemunha com perda média de 38,41% da massa inicial foi de 52,5km e a dos conjuntos 1, 2, 3, 4 e 5 foram de 61,0km, 72,8km, 77,2km, 108,7km e 90,2km, respectivamente.

A ponteira revestida com arame tubular (conjunto 4) obteve a maior vida útil com 108,7km de sulco no solo.

Os conjuntos 1, 2, 3, 4 e 5 permitiram o aumento da vida útil da ponteira em 16,4%, 38,8%, 47,3%, 107,7% e 72,2%, respectivamente, em relação à testemunha.

O desgaste dos conjuntos se comportou de forma linear. A ponteira testemunha obteve uma taxa de desgaste médio de $2,77\text{g.km}^{-1}$, enquanto que os conjuntos 1, 2, 3, 4 e 5 perderam em média $2,58\text{g.km}^{-1}$, $1,99\text{g.km}^{-1}$, $1,97\text{g.km}^{-1}$, $1,33\text{g.km}^{-1}$ e $1,62\text{g.km}^{-1}$, respectivamente.

As forças verticais na ponteira foram heterogêneas (coeficiente de variação médio de 144,36%), mas esta componente contribuiu somente com cerca de 11%, da força resultante. As forças horizontais foram homogêneas (coeficiente de variação médio de 14,49%) indicando boa representatividade, contribuindo com aproximadamente 89% da força resultante.

Com o uso dos revestimentos se consegue um aumento da área trabalhada na semeadura, nas condições do teste de 2,0ha, 4,8ha, 5,8ha, 8,9ha e 13,4ha, com o uso dos conjuntos 1, 2, 3, 5 e 4 respectivamente, em relação à testemunha, até a perda de 38,41% da massa inicial das ponteiras.

A eficiência de campo teórica aumenta com a utilização dos revestimentos, sendo que no uso do arame tubular (conjunto 4), aumenta em 5,1% em relação à testemunha.

A ponteira testemunha foi adequada como material base para as soldagens de revestimento utilizadas.

6 Sugestões para trabalhos futuros

Estudar um novo formato para a ferramenta, de forma que utilize menos material no suporte e mais na ponteira.

Analisar outros tipos de revestimentos e/ou posições destes sobre a ponteira para aumentar a vida útil da ferramenta.

Pesquisar outros tipos de tratamentos na ponteira original sem a necessidade de revestimento soldável para aumentar a vida útil da ferramenta.

Avaliar a utilização de outros tipos de materiais para a construção da ponteira original visando prolongar a sua durabilidade.

Analisar os desgastes e forças de tração para outros tipos de solos.

7 Referências

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. Terminology for soil-engaging components for conservation-tillage planters, drills and seeders. In: ASAE standards (ASAE S477 DEC93), 1995. p.312-317.

ASAE. American Society of Agricultural Engineers. Agricultural Machinery management. In: ASAE standards (ASAE D497.4 JAN 98), 1999. p.359-366.

ASHBURNER, J.; SIMS, B. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1984. 474p.

BAPTISTA, A. L. de B., NASCIMENTO, I. de A. do. **Revestimentos duros resistentes ao desgaste depositados por soldagem utilizados na recuperação de elementos de máquinas**. Spectru Instrumental Científico Ltda. Divisão Metalurgia, soldagem, ensino e pesquisa. 33p. (s.d.). Disponível em: <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/soldadesgaste.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2008.

BARROS, M. B.; DE MELLO, J. D. B. Efeito dos parâmetros de teste sobre o mecanismo de desgaste predominante em ensaios de desgaste abrasivo. 2008. Disponível em: <http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/Edicao%202006_1/C/murilo_borges.pdf> Acesso em: 29 mai. 2008.

BHOLE, S. D.; YU, H. Abrasive wear evaluation of tillage materials. **Lubricating Engineering**, v.48, n.12, p.925-934, 1992.

BOND, D.; OKIMOTO, P. C.; D'OLIVEIRA, A. S. C. M. de. Efeito da intensidade de corrente nas características de revestimentos soldados com material de adição

atomizado. Disponível em: <
http://demec.ufpr.br/pesquisas/superficie/artigos/2005_III_Cobef_Joinville/EFEITO%20DA%20INTENSIDADE%20DE%20CORRENTE%20NAS%20CARACTERISTICAS.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2008.

BORTOLOTTO, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora sob diferentes velocidades de deslocamento e tipos de cobertura vegetal no plantio direto da soja. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v.27, n.2, p. 357-362, abr/jun 2005.

BRACARENSE, A. Q.; MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V. **Soldagem.** Fundamentos e tecnologia. 2.^a ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 363p.

BRANDI, S.D. Revestimento duro por soldagem. In: **Soldagem processos e metalurgia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004. p.335-358.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Guairá (PR) – Resultados de avaliação. **Revista Plantio Direto**, set. e out. 2004. p.15-24.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Análise tridimensional de esforços em semeadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais do...** Fortaleza, 2000.

CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; BEUTLER, J. F.; TREIN, C. R. Demanda de tração na haste sulcadora de adubo em função de coberturas de inverno e profundidades de atuação, em semeadura direta de milho e soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004. São Pedro, SP. **Anais do...** São Pedro, 2004.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25 n.2, p.447-457, mai./ago. 2005.

CHANDON, K.; KUSHWAHA, R. L. Soil forces on deep tillage tools. In: AIC 2002 Meeting CSAE/ESGR. Program Saskatoon, Saskatchewan, 2002. 12p.

CHAUDHURI D. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills. A Review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.79, n. 2, 2001, p.125-137.

CLARA, M. S. **Soldagem de revestimentos**. Módulo II - 2. São Paulo, SP. Núcleo Tecnológico de Soldagem e Qualidade. 2002. 23p. Disponível em < <http://www.oximigdosul.com.br/downloads/Modulo%20II.pdf> > Acesso em: 29 mai. 2008.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C. T. C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27 n.1, p.220-228, jan./abr. 2007.

COLLINS, B. A.; FOWLER, D. B. Effect of soil characteristics, seeding depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. **Soil & Tillage Research**, v.39, p.199-211, 1996.

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação das máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas. Ensaio e certificação**. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. p. 551-570.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 imp. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS, 1999. 412p.

ESAB. **OK Eletrodos revestidos**. 2007. 20p.

ESPÍRITO SANTO, A. C. **Desgaste de ponteiros de hastes sulcadoras de semeadoras de Plantio direto e sua influência no esforço de tração**. 2005. 155p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Área de plantio direto. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>> Acesso em: 10 de nov. 2007.

FIELKE, J. M. Interaction of the cutting edge of tillage implements with soil. **Journal of Agricultural Engineering Research**., Silsoe, v. 63, 1996, p.61-71.

FURLANI, C. E. A., SILVA, R. P. DA, LOPES, A., CORTEZ, J. W.; GROTTA, D. C. C. Semeadora-adubadora: exigências em função da velocidade e do ângulo de ataque da haste sulcadora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais do...** João Pessoa, 2006.

FONSECA, J. S. da; MARTINS, G. de A. **Curso de estatística**. São Paulo: Atlas, 6.^a ed., 1996. 320p.

GERMINO, R.; BENEZ, S. H. Ensaio comparativo em dois modelos de hastes sulcadoras para semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Eng. Agríc**, Botucatu, v.21, n.3, p. 85-92, 2006.

GOMES, A. S.; CUNHA, N. G. PAULETTO, E. A.; et al. Solos de várzea uso e manejo. In: MARCOANTÔNIO, G. **Solos e irrigação**. Porto Alegre. Ed. Universidade UFRGS, FEDERACITE, 1992. 123p.

IAC. Instituto Agrônomo de Campinas. Plantio direto – caminho para uma agricultura sustentável. 2005. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/PlantioDireto/PlantioDireto.htm>> Acesso em: 29 mai. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.sh>>. Acesso em: 6 fev 2008.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C. M. A. de; RAFULL, L. Z. L.; SOUZA, L. C. F. de; REIS, E. F. dos. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesq. Agropec. Bras.** (Brasília, DF), v.42, n.5, 2007, p. 725-731.

LIMA, A. C.; FERRARESI, V. A.; GONÇALVES, R. A. Avaliação de resistência de revestimentos duros aplicados com arames tubulares de liga ferro-cromo-carbono. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 8, 2007, Cusco. **Anais do...** Cusco, 2007.

MACHADO, A. L. T. **Esforços de tração para ferramentas de hastes com ponteiros estreitas em dois solos do Rio Grande do Sul.** 2001. 173p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos; MORAES, M. L. B. de; ALONÇO, A. dos S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura e adubação.** Pelotas, RS: Universitária UFPel. 2005. p. 103-190.

MACHADO, A. L. T.; SANTO, A. C. E.; BATISTA, V. J.; REIS, Â. V. dos; OLDONI, A.; SPAGNOLO, R. T. Proposta de metodologia para avaliação de desgaste em ponteiros sulcadoras de semeadoras. In: Congreso Argentino de Ingenieria Rural y I Del Mercosur, 9, 2007. Córdoba, Argentina. **Anais do...** Cordoba p. 97-102. 2007.

MACHADO, R. L. T.; FERREIRA, M. F. P.; MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos; BUTZKE, H. P. Força de tração de semeadoras para plantio direto: informações de campo x informações de catálogo. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v.11, n.1 e 2, p.15-17, jan./dez., 2007.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem. Fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 363p.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. 301p.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. Metalurgia da soldagem. Capítulo 6. Fissuração em juntas soldadas. Disponível em: < <http://www.demet.ufmg.br/labs/soldagem/textos/metsol03.pdf> >. Acesso em: 25 ago. 2008.

MODOLO, A. J.; GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. de L.; GNOATTO, E. Força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura utilizadas por uma semeadora-adubadora de precisão. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25 n.2, p.465-473, mai./ago. 2005a.

MODOLO, A. J.; SILVA, S. de L.; GABRIEL FILHO, A.; SILVEIRA, J. C. M. da; GNOATTO, E. Demanda energética solicitada por uma semeadora-adubadora de precisão com diferentes unidades de semeadura. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v.27, n.3, p. 473-479, jul/set, 2005b.

MODOLO, A. J.; SILVA, S. de L.; SILVEIRA, J. C. M da; MARCANTE, E. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.12, n.4, p.298-306, out./dez. 2004.

MORAES, J. O. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de risers flexíveis – Proposição de nova metodologia de teste**. 2005. 142p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

MOURAD, R. B. A.; SANTOS, J. E. G. dos. Projeto e construção de bancada para verificação do desgaste dos órgãos ativos de implementos agrícolas submetidos à abrasão em quatro tipos de solos. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.23 n.3, p.547-555, set./dez. 2003.

NASCIMENTO, G. B. do; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. dos; SOUZA, M. R. P. F. de; SOARES, E. D. R.; MAZUR, N. **Geotextural 2000. Determinador de classe textural de amostras de terra a partir de planilha eletrônica**. Disponível em: <<http://www.ia.ufrj.br/cpacs/aplicat/aplicat.htm>> Acesso em: 31 out. 2008.

OLIVEIRA, M. F. B; SIQUEIRA, R.; RALISCH, R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R. Mobilização do solo por hastes sulcadoras de Semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais do...** Fortaleza, 2000.

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

PECHE FILHO, A. Mecanização do sistema plantio direto. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, n. 1. p.,17-18. 2005.

POLIDO, R. S.; GALLEGOS, J. Estudo da microestrutura de revestimento duro aplicado nos equipamentos da indústria sucroalcooleira ao desgaste abrasivo. Disponível em: <http://www.dem.feis.unesp.br/maprotec/publicado_2006/saito_cicunesp2006.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2008.

PORTILLA, J. A. **Semeadoras para plantio direto**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 252p.

REIS, Â. V. dos; FORCELLINI, F. A. Seleção de materiais para ponteiros de escarificadores. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 22 n. 2, p.270-277, mai./ago. 2002.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; RAMÍREZ, J. J.; LITAGO, J. J.; HERNANZ, J. L. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces setting on three seed drill furrow openers. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.81, n.1, p.25-37, 2005.

SCHLOSSER, J. F. **Máquinas para implantação e condução de culturas.** Caderno didático. Departamento de Engenharia Rura/CCR/UFSM. 1997. 49p.

SILVA, M. R. da. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação.** 2003. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H.; SILVA A. R. B.; GERMINO R.; MAHL, D. Influência de mecanismo sulcador de semeadora-adubadora em parâmetros agrônômicos na cultura do milho (*zea mays l.*) In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, 2003. Goiânia, GO. **Anais do...** Goiânia, 2003.

SILVA, M. R. da; DANIEL, L. A.; PECHE FILHO, A. Sistematização de informações em catálogos de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003. Goiânia, GO. **Anais do...** Goiânia, 2003a.

SILVA, M. R. da; DANIEL, L. A.; PECHE FILHO, A. Índice para seleção de semeadoras-adubadoras de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003. Goiânia, GO. **Anais do...** Goiânia, 2003b.

SIQUEIRA; R.; ARAÚJO, A. G.; CASÃO JUNIOR, R.; RALISH, R. Desempenho energético de semeadoras-adubadoras de plantio direto na implantação da cultura da soja (*Glycine máx L.*) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001. Foz do Iguaçu, PR. **Anais do...** Foz do Iguaçu, 2001.

SOUZA, A.; LABONI, A.; COUTINHO, I. Revestimentos superficiais – “Tecnologia de superfícies” – aplicação de cromo duro em ferramentas, moldes e matrizes. In: Encontro de integrantes da cadeia produtiva de ferramentas, moldes e matrizes. 2003. Disponível em: < <http://www.saletto.com.br/italocoutinho/arquivos/abm2003cd-artigo.PDF> >. Acesso em: 29 mai. 2008.

STORCK, L.; LOPES, S. J. **Experimentação II**. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia. 1997. 197p.

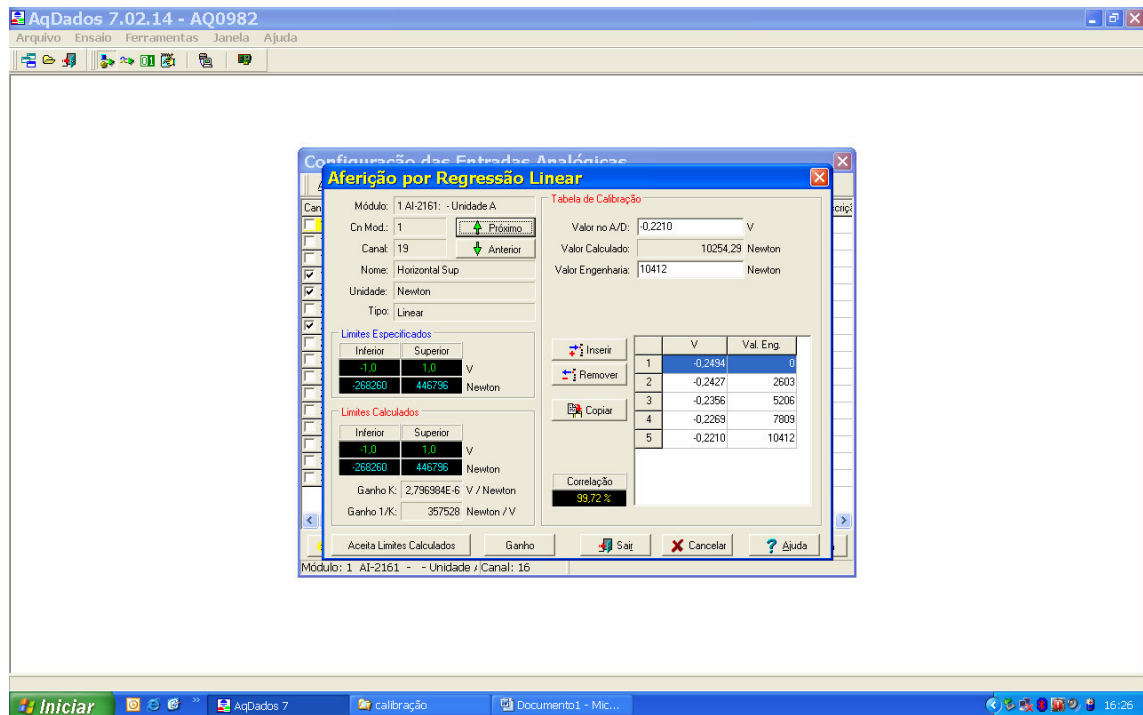
STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 107p.

TAYLOR, R.K.; SCHROCK, M.D. Seeding equipment for no-till. In: Kansas no-till handbook, Kansas State University, Chapter 11, 1999, p.61-67. Disponível em: <<http://www.oznet.ksu.edu/library/crpsl2/s126.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2008.

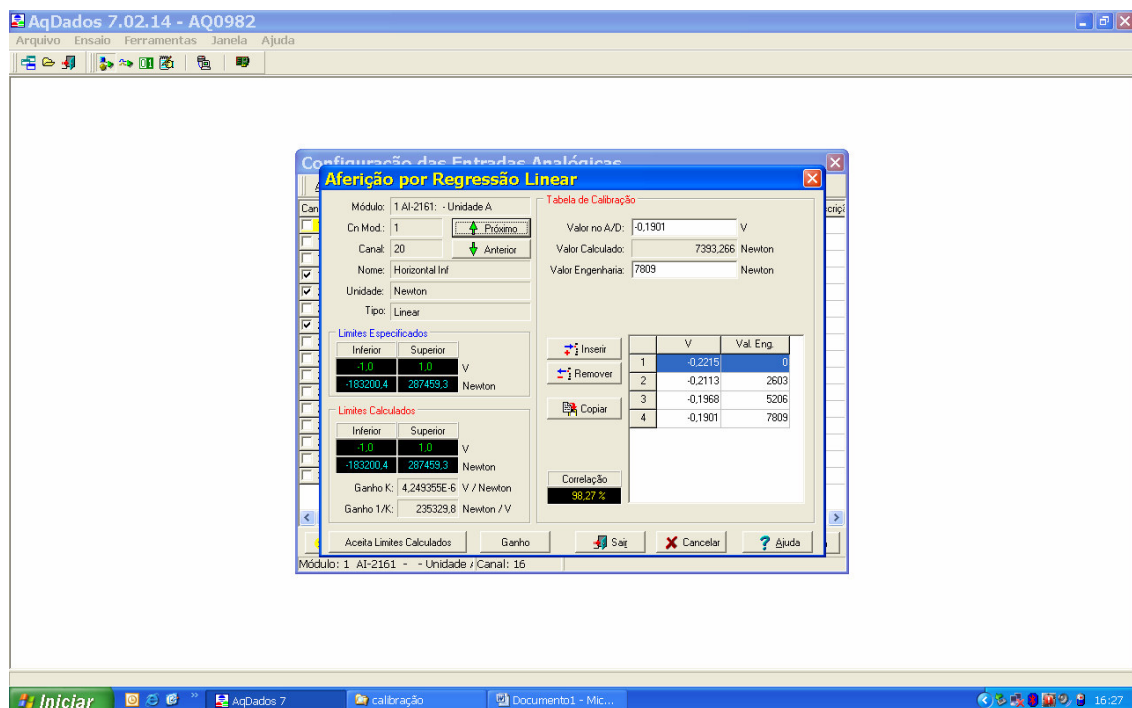
TREVISAN, C. **Desgaste de órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de preparo do solo: avaliação bibliográfica**. 2007. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

8 Apêndices

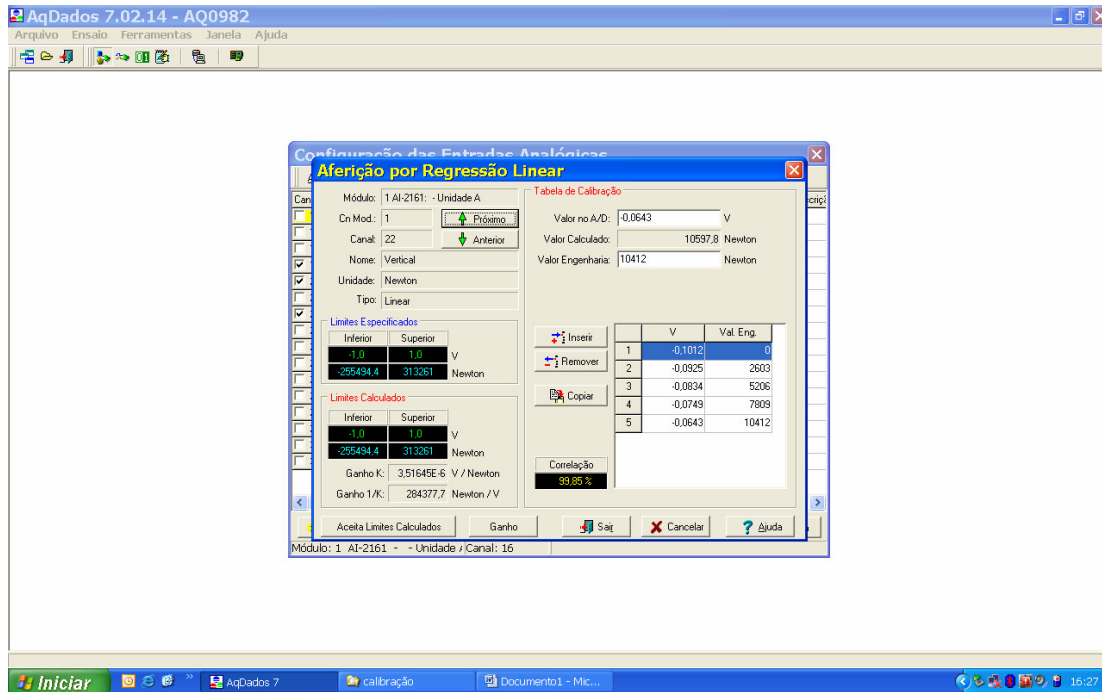
Apêndice A - Janela de diálogo da aferição do canal horizontal superior.



Apêndice B – Janela de diálogo da aferição do canal horizontal inferior.



Apêndice C – Janela de diálogo da aferição do canal vertical.



Apêndice D – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 1 na repetição 1.

Cj1 Rep1 0,0km



Cj1 Rep1 0,0km



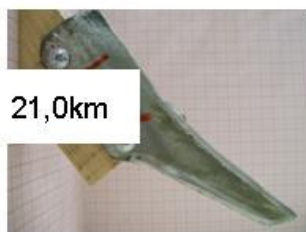
Cj1 Rep1 10,5km



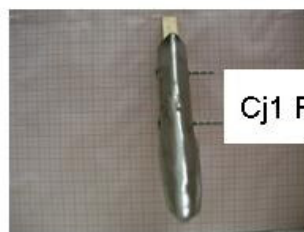
Cj1 Rep1 10,5km



Cj1 Rep1 21,0km



Cj1 Rep1 21,0km



Cj1 Rep1 31,5km



Cj1 Rep1 31,5km



Cj1 Rep1 42,0km



Cj1 Rep1 42,0km



Cj1 Rep1 52,5km



Cj1 Rep1 52,5km



Apêndice E – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 1 na repetição 2.

Cj1 Rep2 0,0km



Cj1 Rep2 0,0km



Cj1 Rep2 10,5km



Cj1 Rep2 10,5km



Cj1 Rep2 21,0km



Cj1 Rep2 21,0km



Cj1 Rep2 31,5km



Cj1 Rep2 31,5km



Cj1 Rep2 42,0km



Cj1 Rep2 42,0km



Cj1 Rep2 52,5km



Cj1 Rep2 52,5km



Apêndice F – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 1 na repetição 3.

Cj1 Rep3 0,0km



Cj1 Rep3 0,0km



Cj1 Rep3 10,5km



Cj1 Rep3 10,5km



Cj1 Rep3 21,0km



Cj1 Rep3 21,0km



Cj1 Rep3 31,5km



Cj1 Rep3 31,5km



Cj1 Rep3 42,0km



Cj1 Rep3 42,0km



Cj1 Rep3 52,5km



Cj1 Rep3 52,5km



Apêndice G – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 2 na repetição 1.

Cj2 Rep1 0,0km



Cj2 Rep1 0,0km



Cj2 Rep1 10,5km



Cj1 Rep1 10,5km



Cj2 Rep1 21,0km



Cj2 Rep1 21,0km



Cj2 Rep1 31,5km



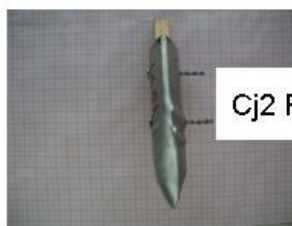
Cj2 Rep1 31,5km



Cj2 Rep1 42,0km



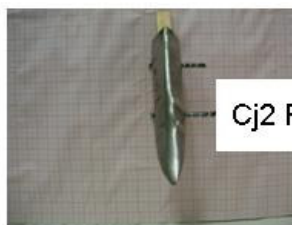
Cj2 Rep1 42,0km



Cj2 Rep1 52,5km



Cj2 Rep1 52,5km



Apêndice H – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 2 na repetição 2.

Cj2 Rep2 0,0km



Cj2 Rep2 0,0km



Cj2 Rep2 10,5km



Cj2 Rep2 10,5km



Cj2 Rep2 21,0km



Cj2 Rep2 21,0km



Cj2 Rep2 31,5km



Cj2 Rep2 31,5km



Cj2 Rep2 42,0km



Cj2 Rep2 42,0km



Cj2 Rep2 52,5km



Cj2 Rep2 52,5km



Apêndice I – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 2 na repetição 3.

Cj2 Rep3 0,0km



Cj2 Rep3 0,0km



Cj2 Rep3 10,5km



Cj2 Rep3 10,5km



Cj2 Rep3 21,0km



Cj2 Rep3 21,0km



Cj2 Rep3 31,5km



Cj2 Rep3 31,5km



Cj2 Rep3 42,0km



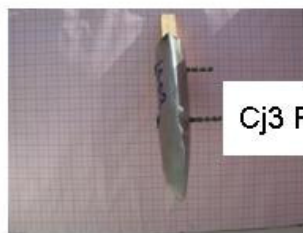
Cj2 Rep3 42,0km



Cj2 Rep3 52,5km



Cj3 Rep3 52,5km



Apêndice J – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 3 na repetição 1.

Cj3 Rep1 0,0km



Cj3 Rep1 0,0km



Cj3 Rep1 10,5km



Cj3 Rep1 10,5km



Cj3 Rep1 21,0km



Cj3 Rep1 21,0km



Cj3 Rep1 31,5km



Cj3 Rep1 31,5km



Cj3 Rep1 42,0km



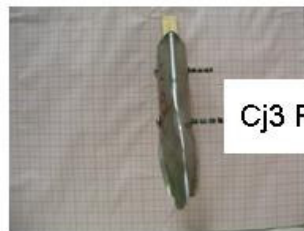
Cj3 Rep1 42,0km



Cj3 Rep1 52,5km



Cj3 Rep1 52,5km



Apêndice K – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 3 na repetição 2.

Cj3 Rep2 0,0km



Cj3 Rep2 0,0km



Cj3 Rep2 10,5km



Cj3 Rep2 10,5km



Cj3 Rep2 21,0km



Cj3 Rep2 21,0km



Cj3 Rep2 31,5km



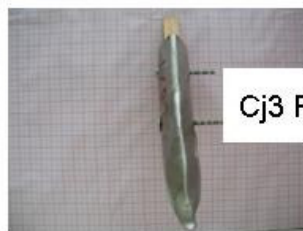
Cj3 Rep2 31,5km



Cj3 Rep2 42,0km



Cj3 Rep2 42,0km



Cj3 Rep2 52,5km



Cj3 Rep2 52,5km



Apêndice L – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 3 na repetição 3.

Cj3 Rep3 0,0km



Cj3 Rep3 0,0km



Cj3 Rep3 10,5km



Cj3 Rep3 10,5km



Cj3 Rep3 21,0km



Cj3 Rep3 21,0km



Cj3 Rep3 31,5km



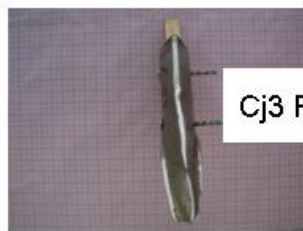
Cj3 Rep3 31,5km



Cj3 Rep3 42,0km



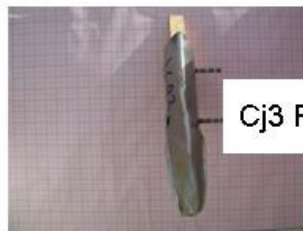
Cj3 Rep3 42,0km



Cj3 Rep3 52,5km



Cj3 Rep3 52,5km



Apêndice M – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 4 na repetição 1.

Cj4 Rep1 0,0km



Cj4 Rep1 0,0km



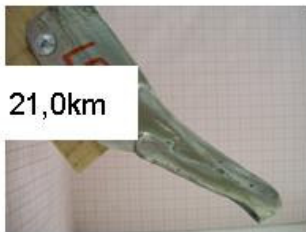
Cj4 Rep1 10,5km



Cj4 Rep1 10,5km



Cj4 Rep1 21,0km



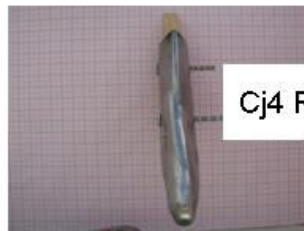
Cj4 Rep1 21,0km



Cj4 Rep1 31,5km



Cj4 Rep1 31,5km



Cj4 Rep1 42,0km



Cj4 Rep1 42,0km



Cj4 Rep1 52,5km



Cj4 Rep1 52,5km



Apêndice N – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 4 na repetição 2.

Cj4 Rep2 0,0km



Cj4 Rep2 0,0km



Cj4 Rep2 10,5km



Cj4 Rep2 10,5km



Cj4 Rep2 21,0km



Cj4 Rep2 21,0km



Cj4 Rep2 31,5km



Cj4 Rep2 31,5km



Cj4 Rep2 42,0km



Cj4 Rep2 42,0km



Cj4 Rep2 52,5km



Cj4 Rep2 52,5km



Apêndice O – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 4 na repetição 3.

Cj4 Rep3 0,0km



Cj4 Rep3 0,0km



Cj4 Rep3 10,5km



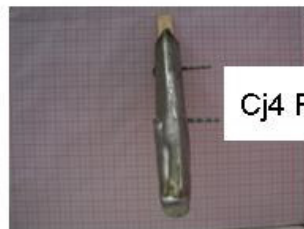
Cj4 Rep3 10,5km



Cj4 Rep3 21,0km



Cj4 Rep3 21,0km



Cj4 Rep3 31,5km



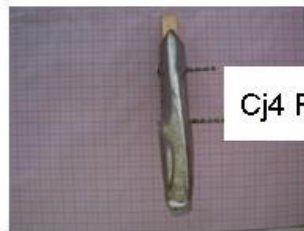
Cj4 Rep4 31,5km



Cj4 Rep3 42,0km



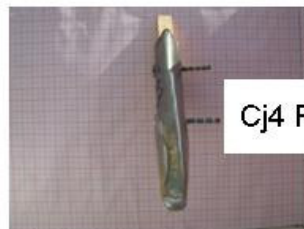
Cj4 Rep3 42,0km



Cj4 Rep3 52,5km



Cj4 Rep3 52,5km



Apêndice P – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 5 na repetição 1.

Cj5 Rep1 0,0km



Cj5 Rep1 0,0km



Cj5 Rep1 10,5km



Cj5 Rep1 10,5km



Cj5 Rep1 21,0km



Cj5 Rep1 21,0km



Cj5 Rep1 31,5km



Cj5 Rep1 31,5km



Cj5 Rep1 42,0km



Cj5 Rep1 42,0km



Cj5 Rep1 52,5km



Cj5 Rep1 52,5km



Apêndice Q – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 5 na repetição 2.

Cj5 Rep2 0,0km



Cj5 Rep2 0,0km



Cj5 Rep2 10,5km



Cj5 Rep2 10,5km



Cj5 Rep2 21,0km



Cj5 Rep2 21,0km



Cj5 Rep2 31,5km



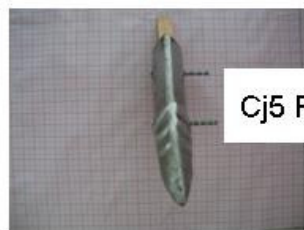
Cj5 Rep2 31,5km



Cj5 Rep2 42,0km



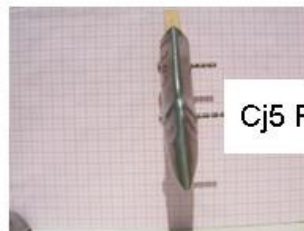
Cj5 Rep2 42,0km



Cj5 Rep2 52,5km



Cj5 Rep2 52,5km



Apêndice R – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto 5 na repetição 3.

Cj5 Rep3 0,0km



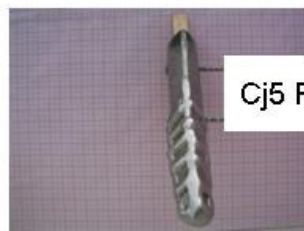
Cj5 Rep3 0,0km



Cj5 Rep3 10,5km



Cj5 Rep3 10,5km



Cj5 Rep3 21,0km



Cj5 Rep3 21,0km



Cj5 Rep3 31,5km



Cj5 Rep3 31,5km



Cj5 Rep3 42,0km



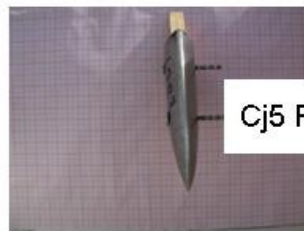
Cj5 Rep3 42,0km



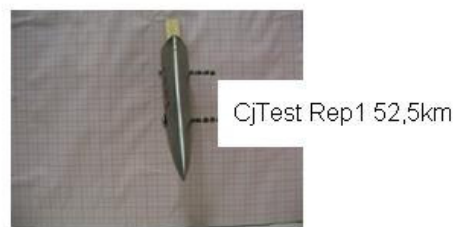
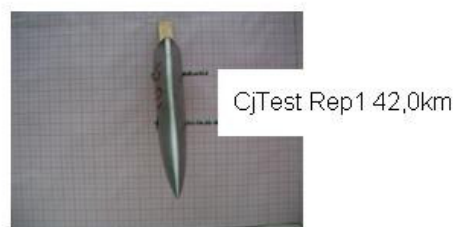
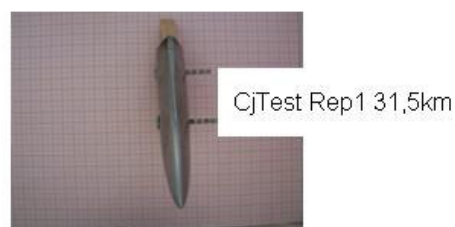
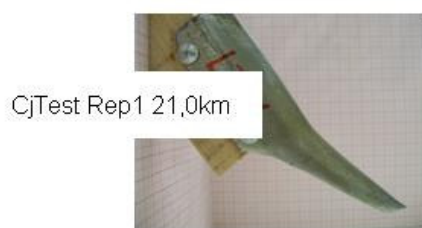
Cj5 Rep3 52,5km



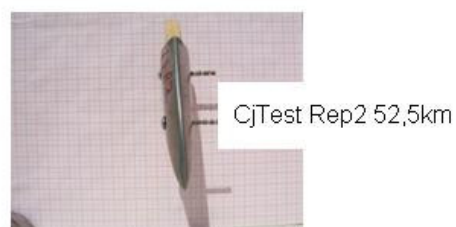
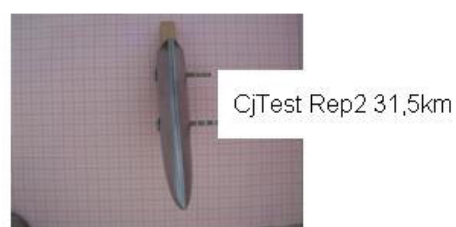
Cj5 Rep3 52,5km



Apêndice S – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto testemunha na repetição 1.



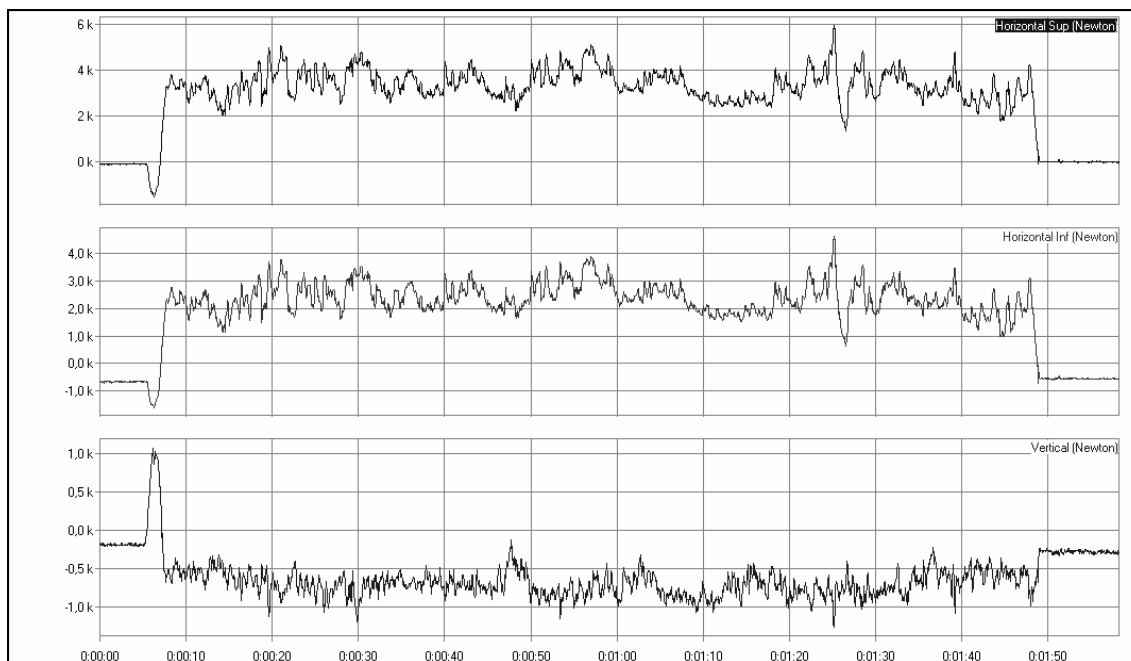
Apêndice T – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto testemunha na repetição 2.



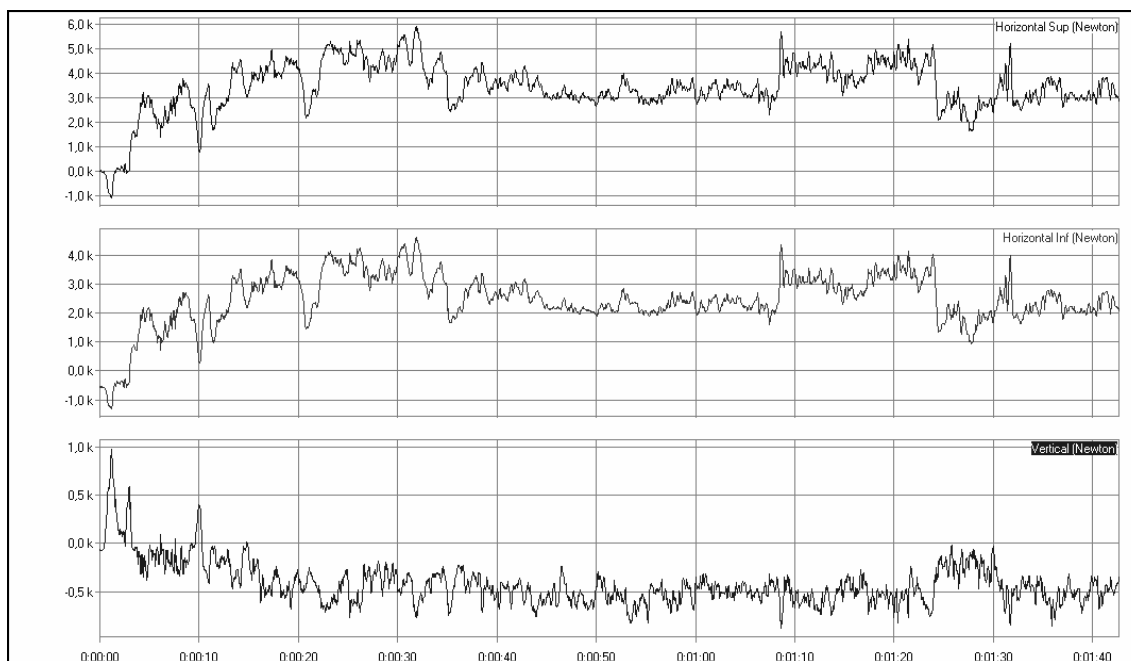
Apêndice U – Evolução do desgaste da ponteira do conjunto testemunha na repetição 3.



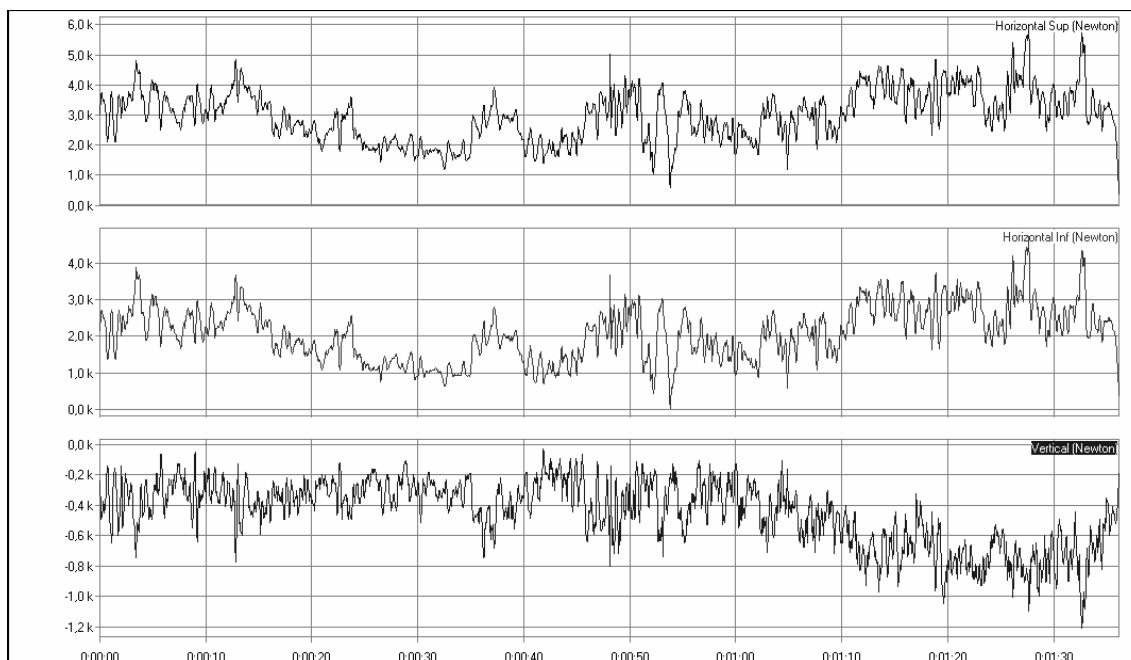
Apêndice V – Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 0,0km.



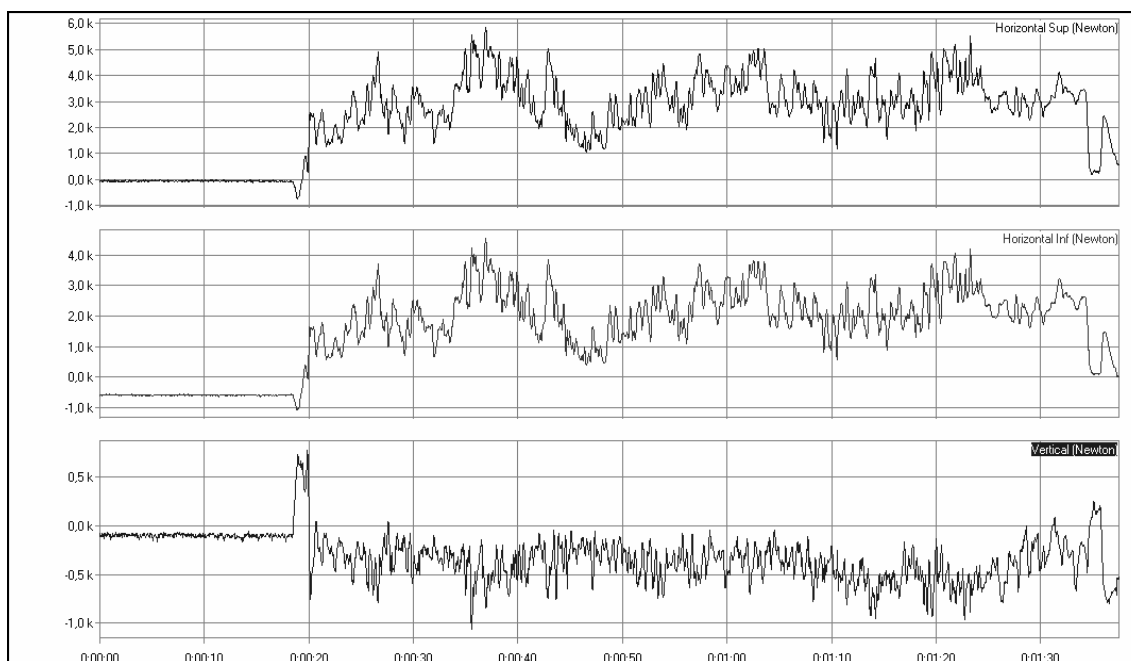
Apêndice W – Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 0,0km.



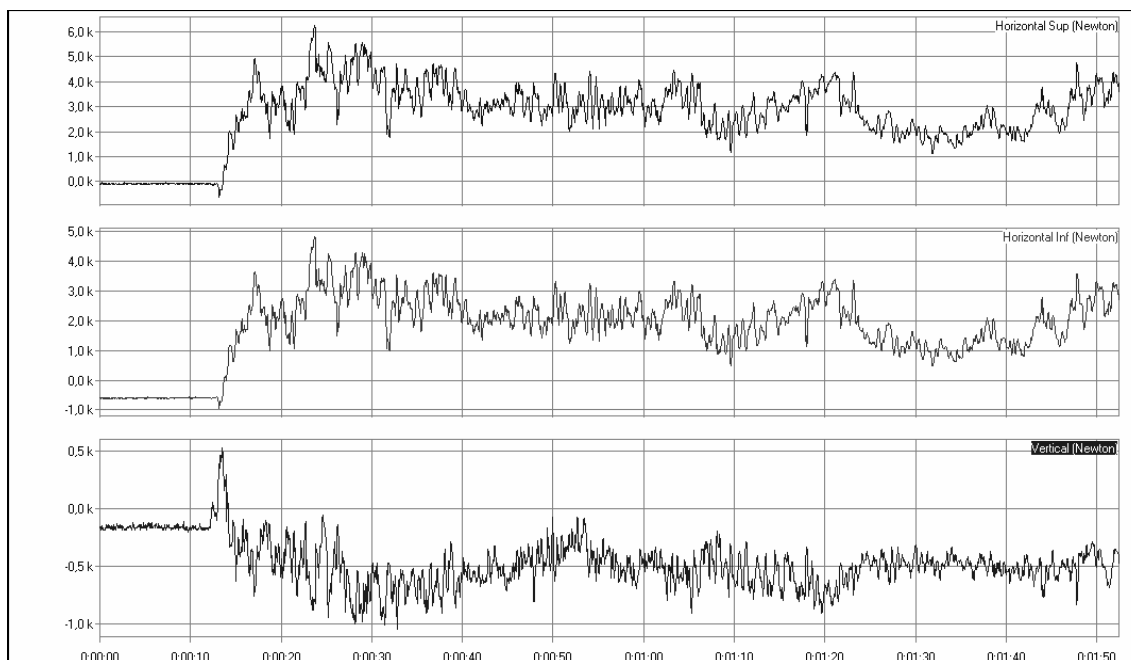
Apêndice X – Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 0,0km.



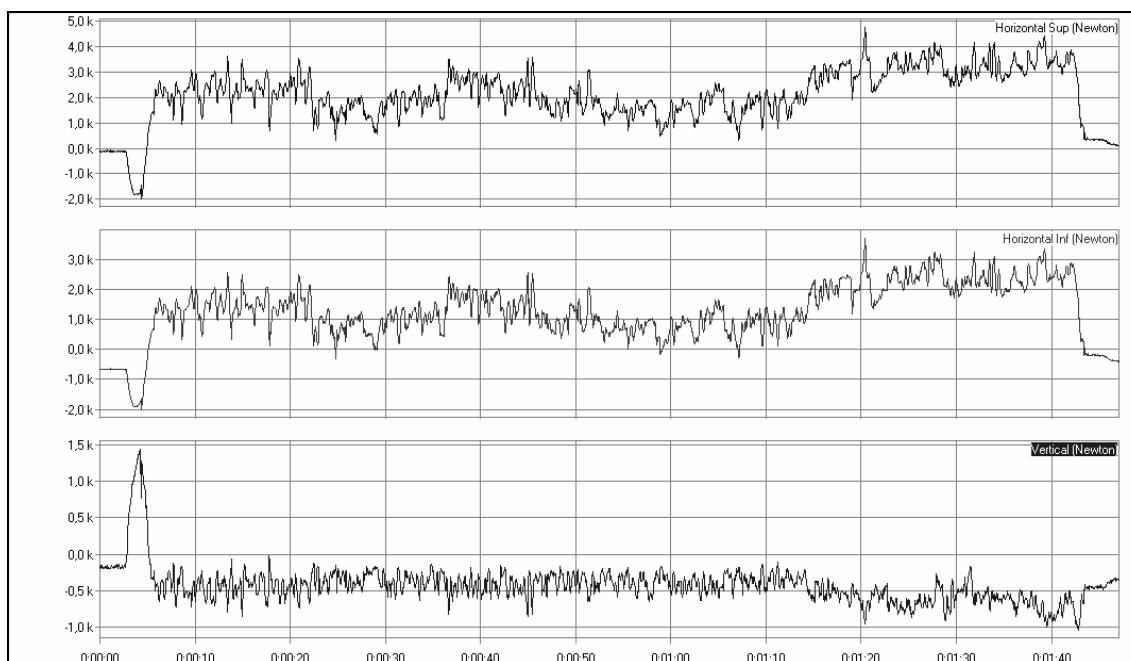
Apêndice Y – Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 0,0km.



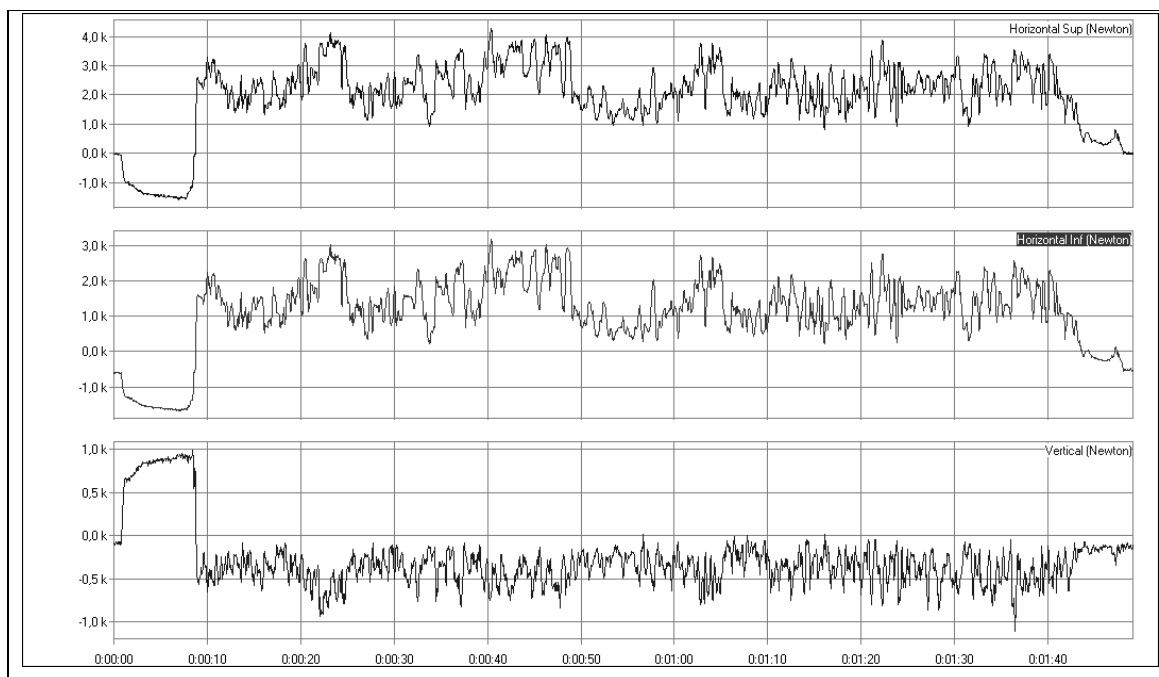
Apêndice Z – Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 0,0km.



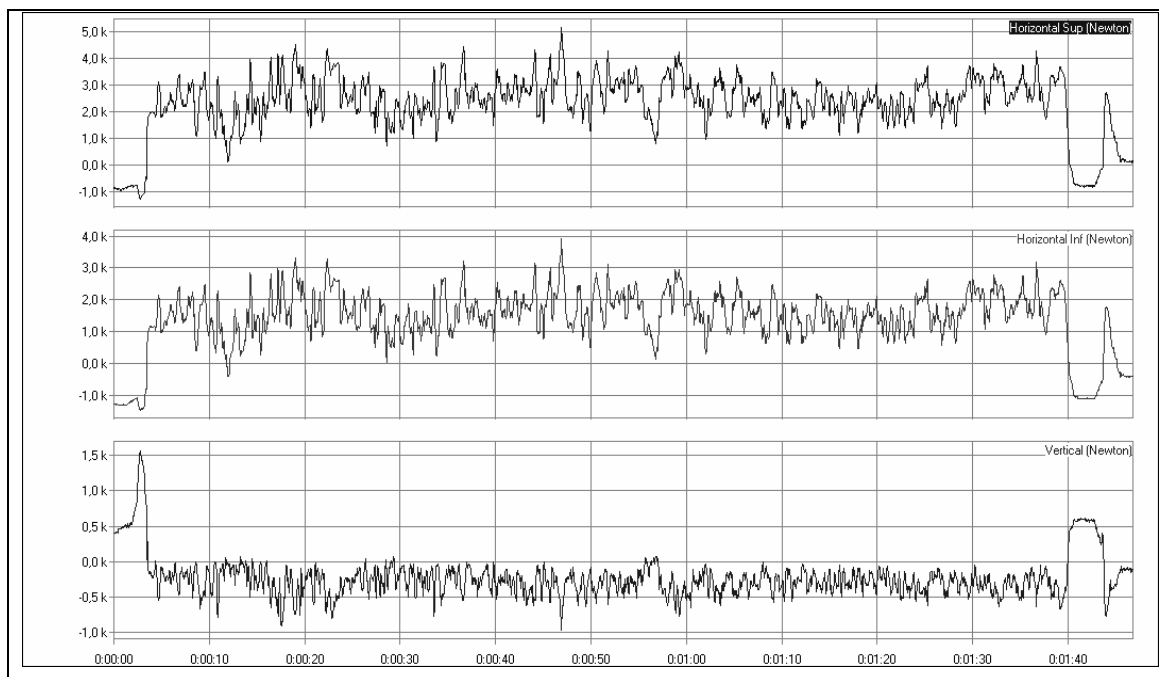
Apêndice AA – Força horizontal e vertical do conjunto testemunha com 0,0km.



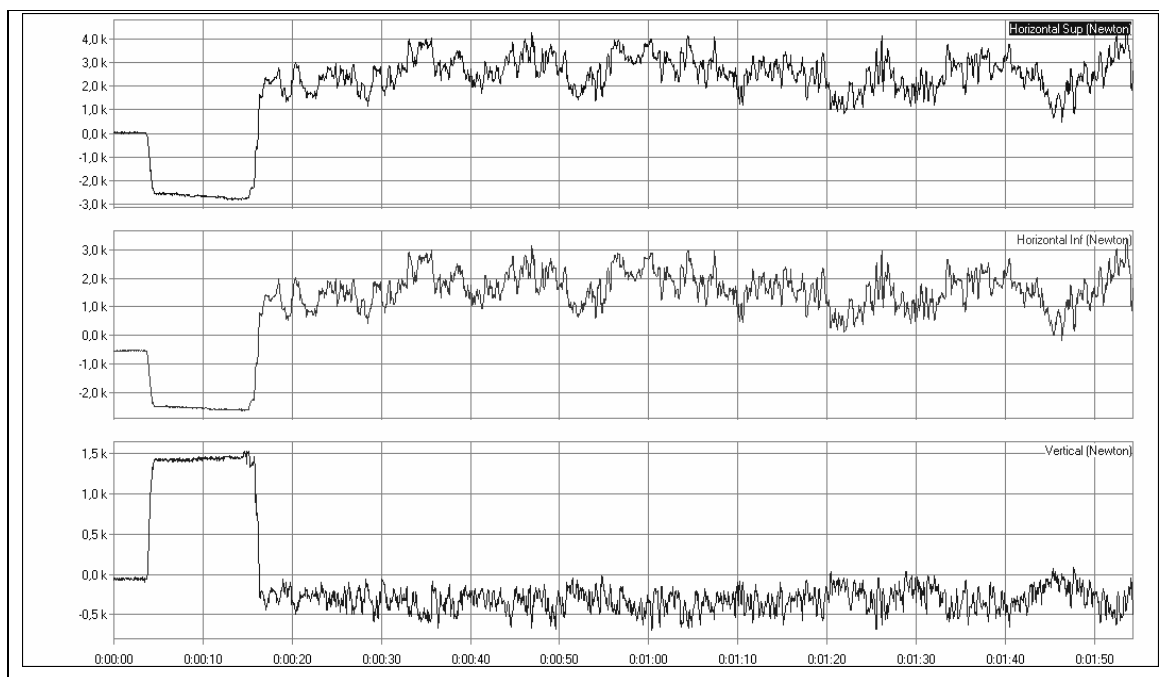
Apêndice BB – Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 10,5km.



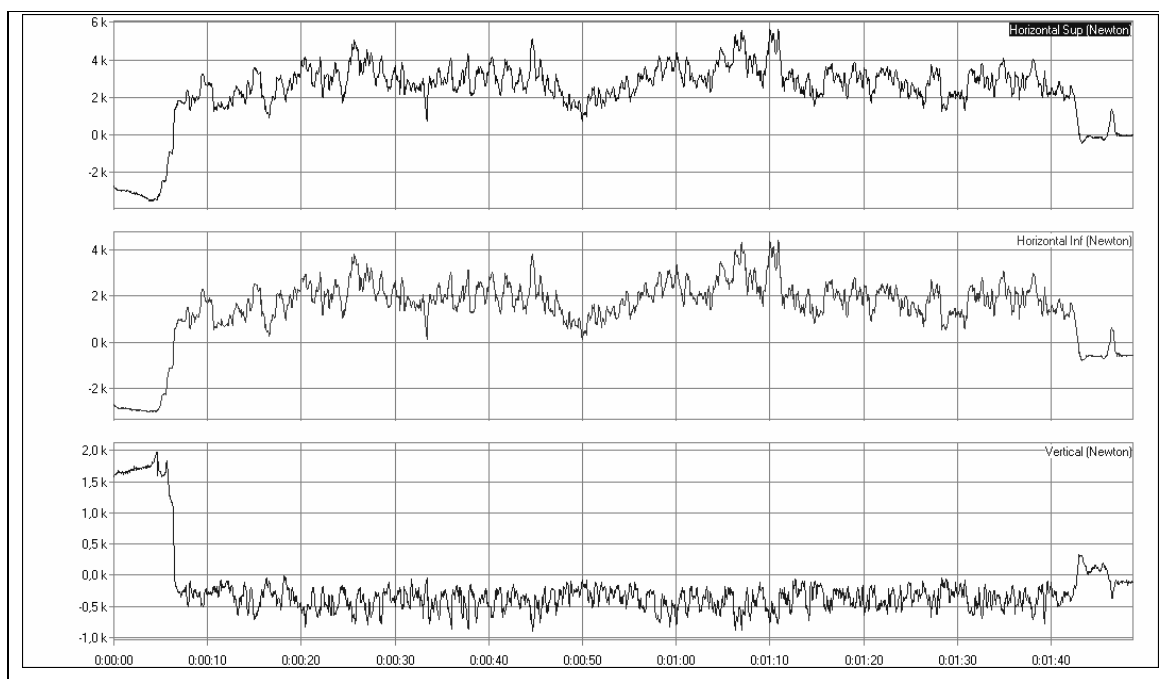
Apêndice CC – Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 10,5km.



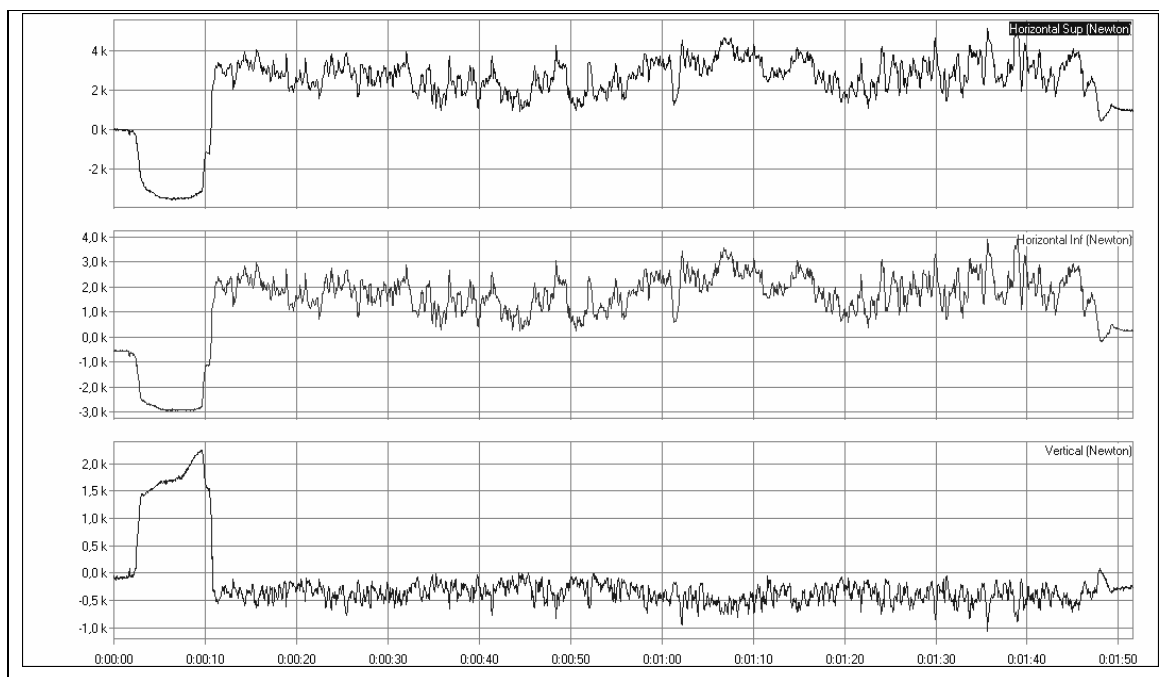
Apêndice DD – Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 10,5km.



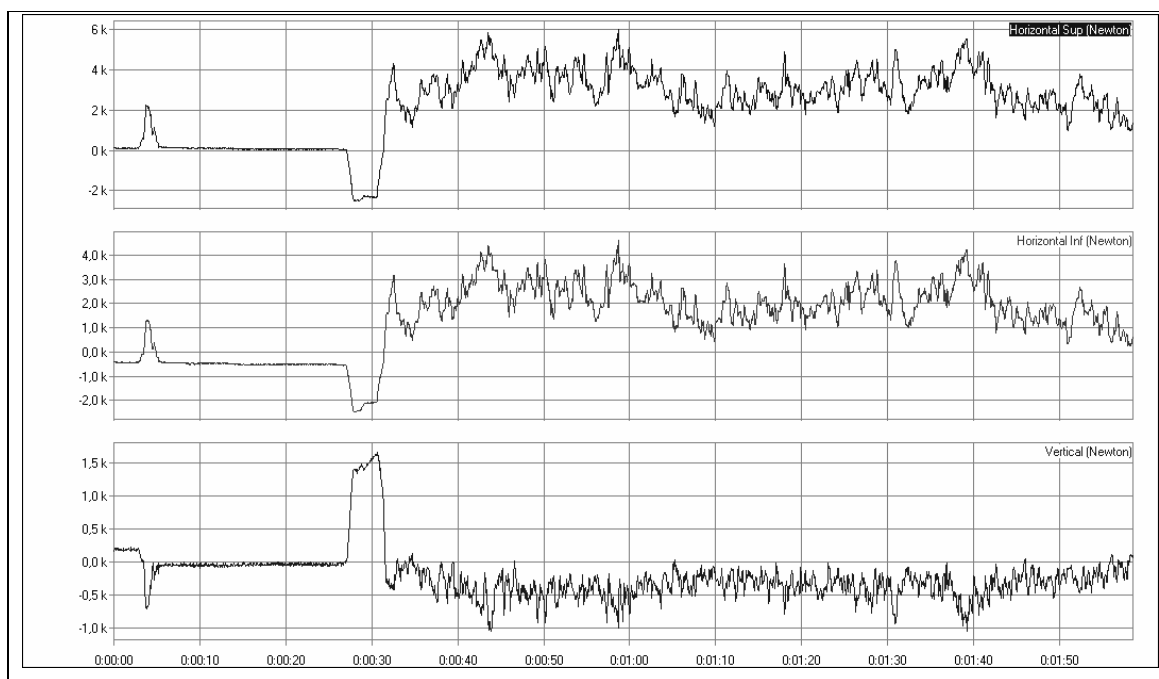
Apêndice EE – Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 10,5km.



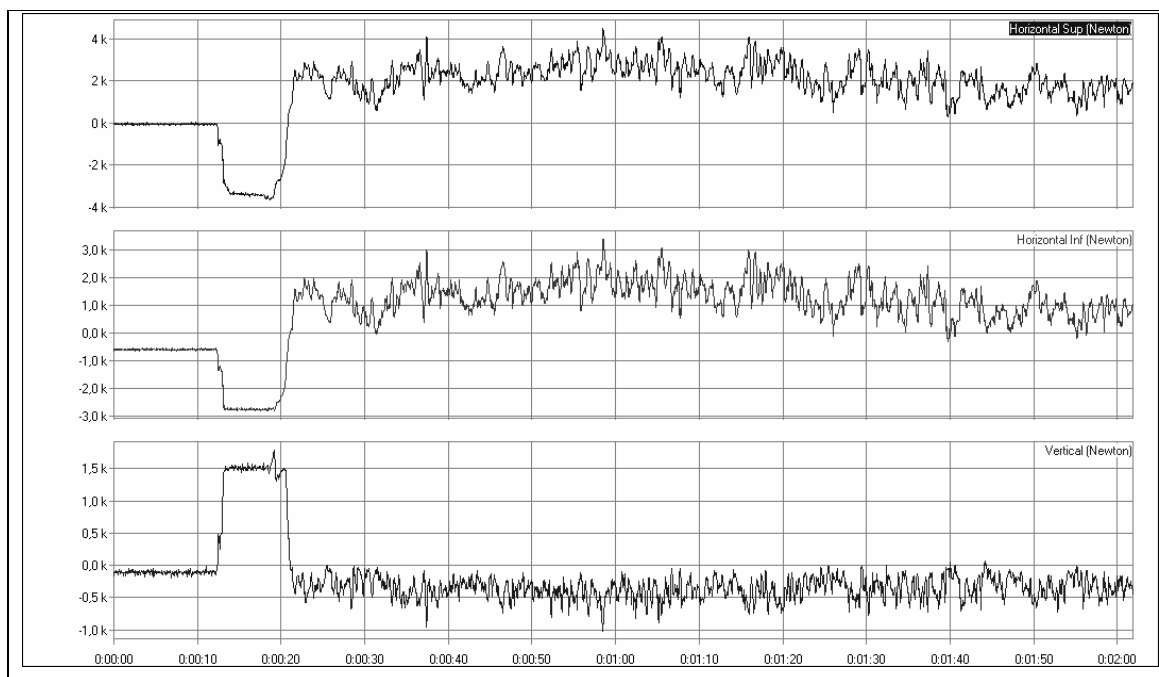
Apêndice FF – Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 10,5km.



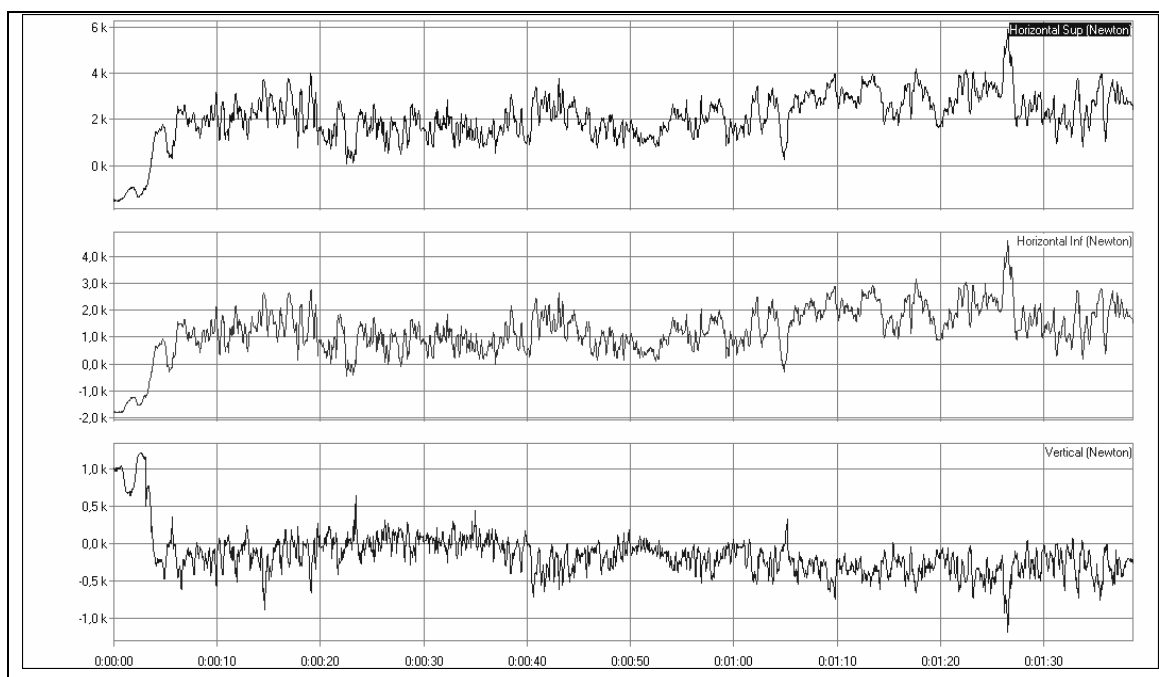
Apêndice GG – Força horizontal e vertical do conjunto Testemunha com 10,5km.



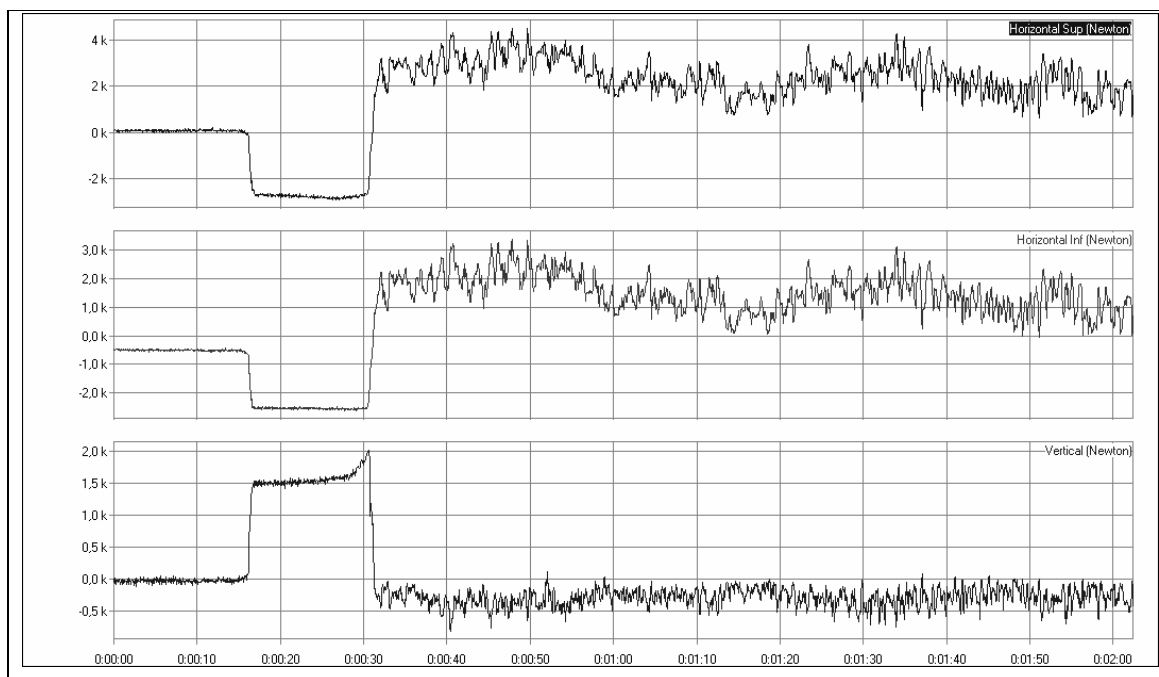
Apêndice HH – Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 21,0km.



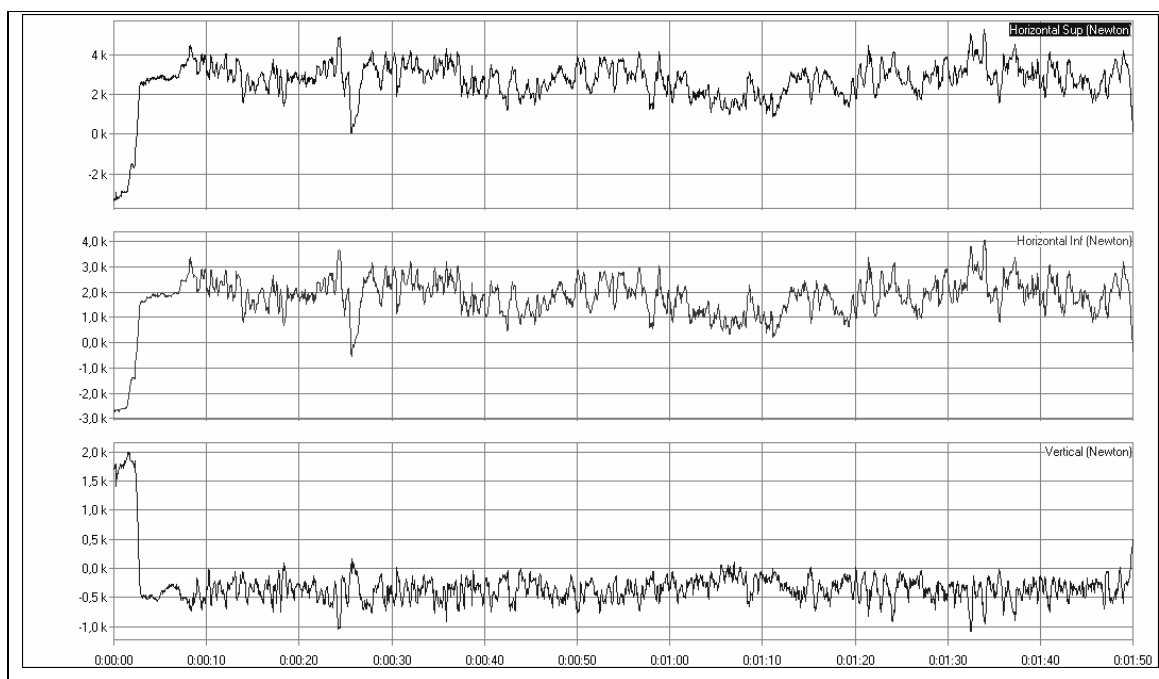
Apêndice II – Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 21,0km.



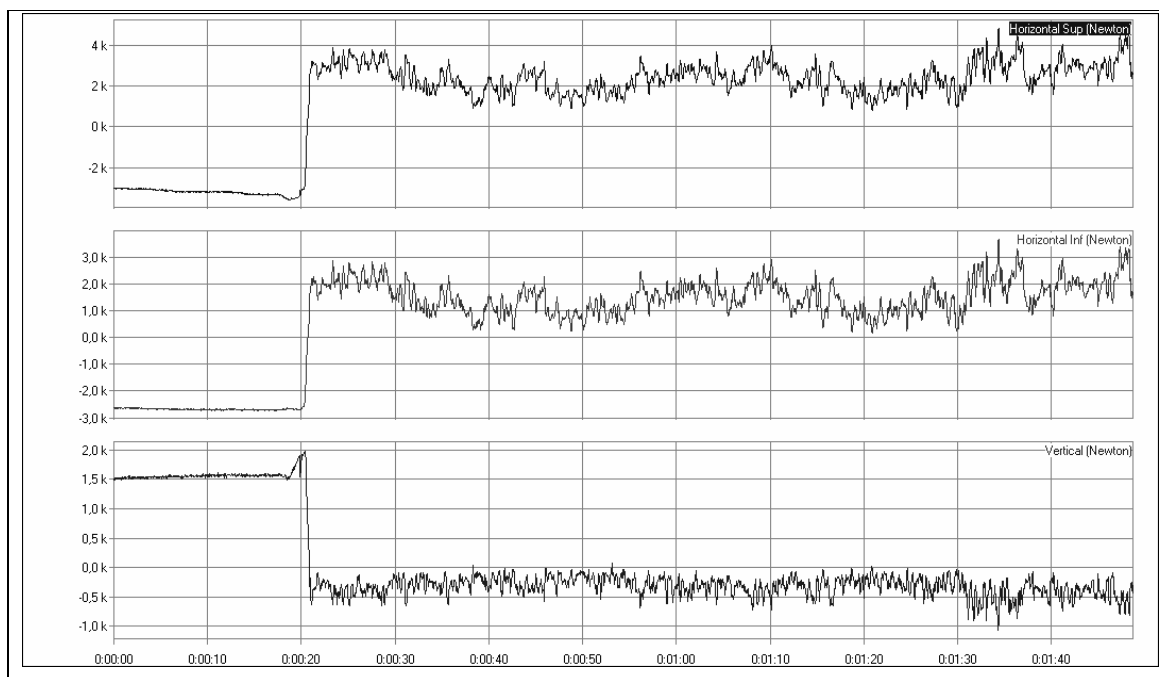
Apêndice JJ – Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 21,0km.



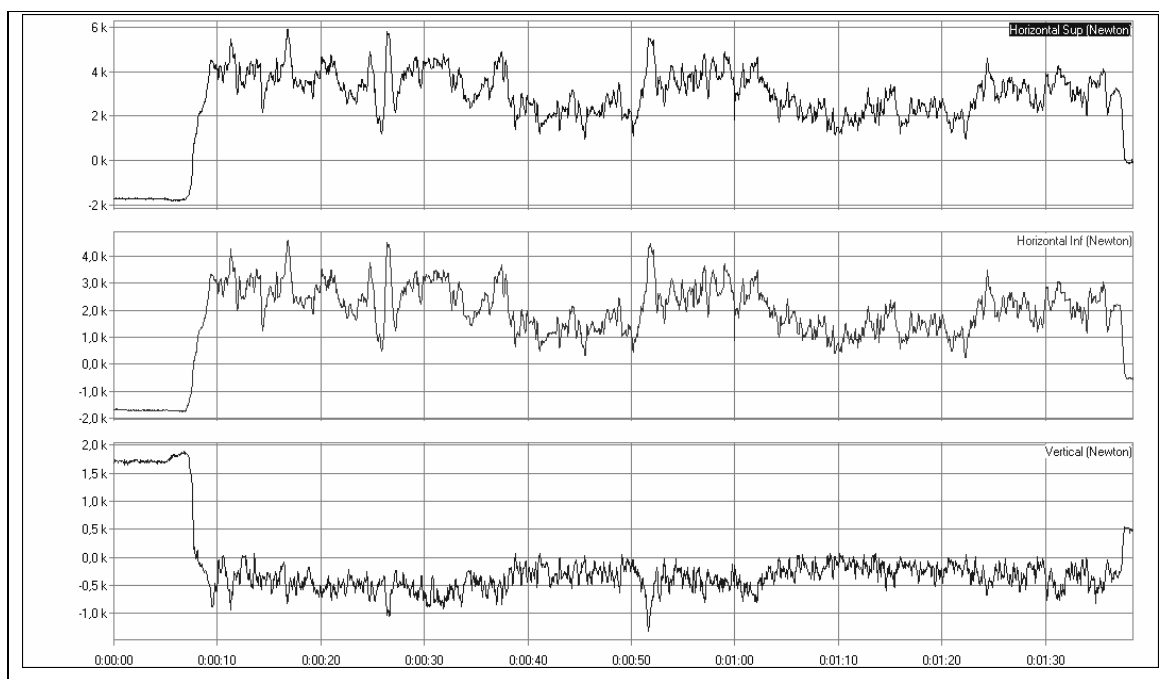
Apêndice KK – Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 21,0km.



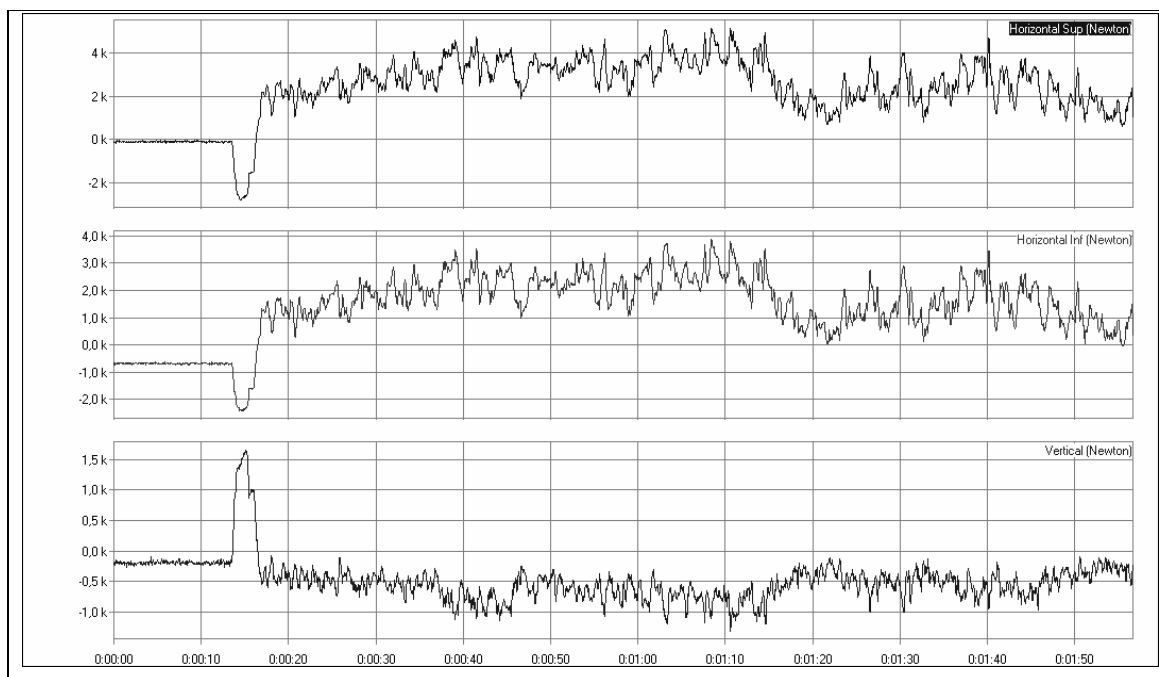
Apêndice LL – Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 21,0km.



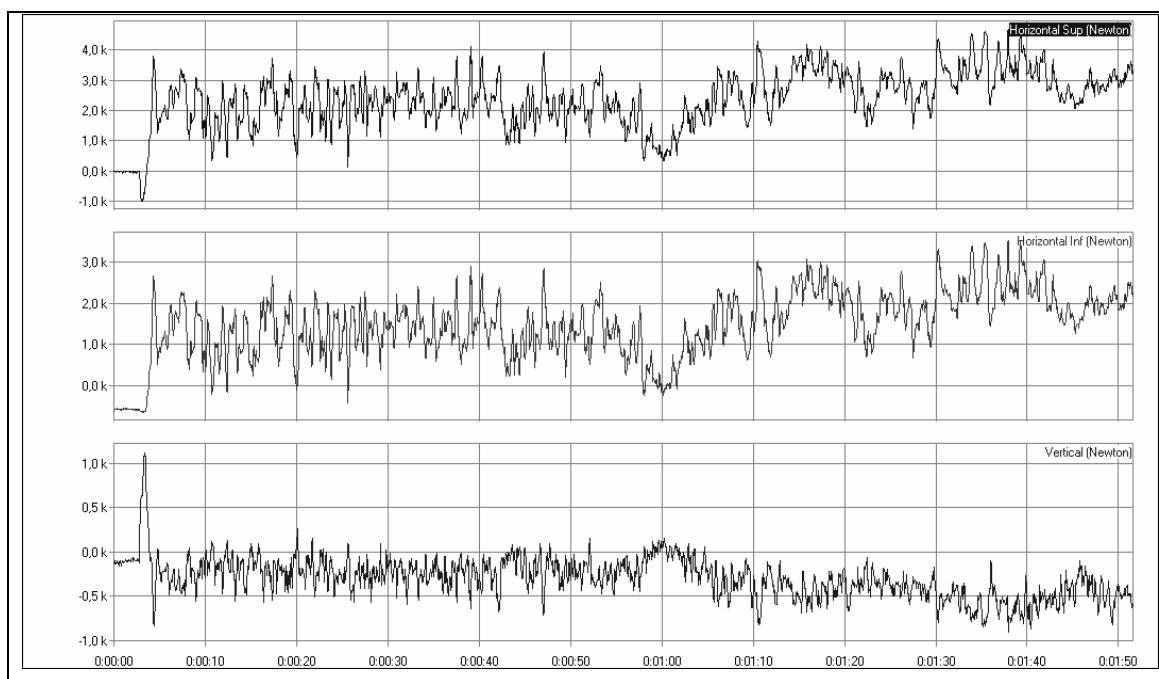
Apêndice MM – Força horizontal e vertical do conjunto Testemunha com 21,0km.



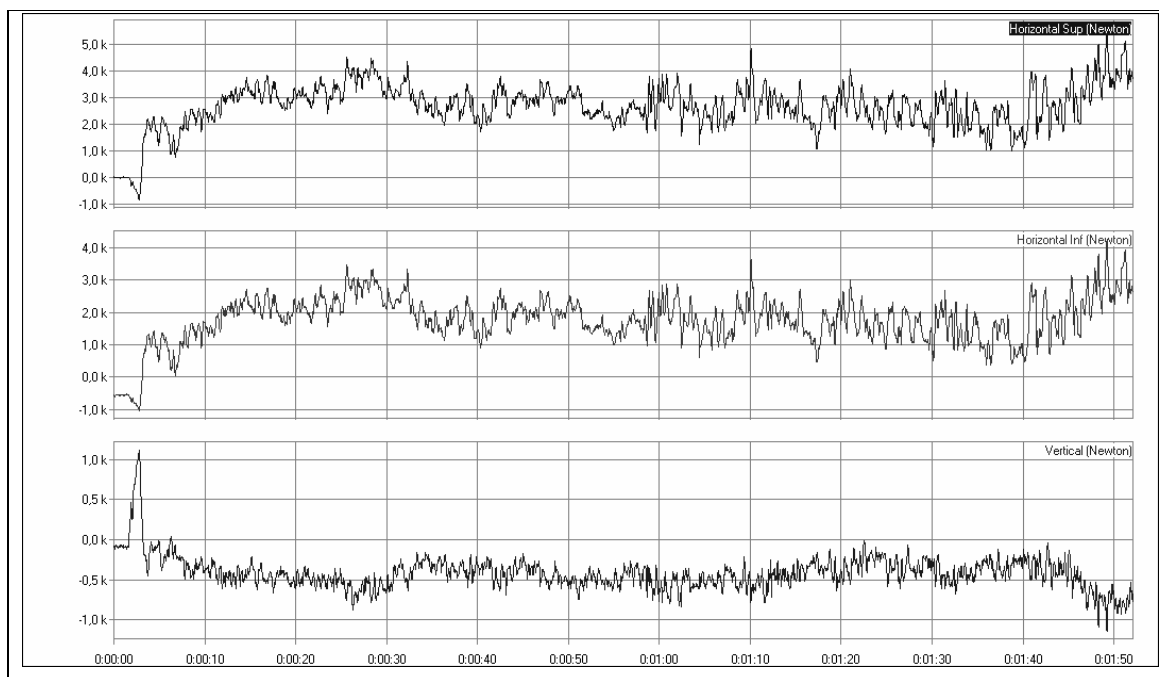
Apêndice NN – Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 31,5km.



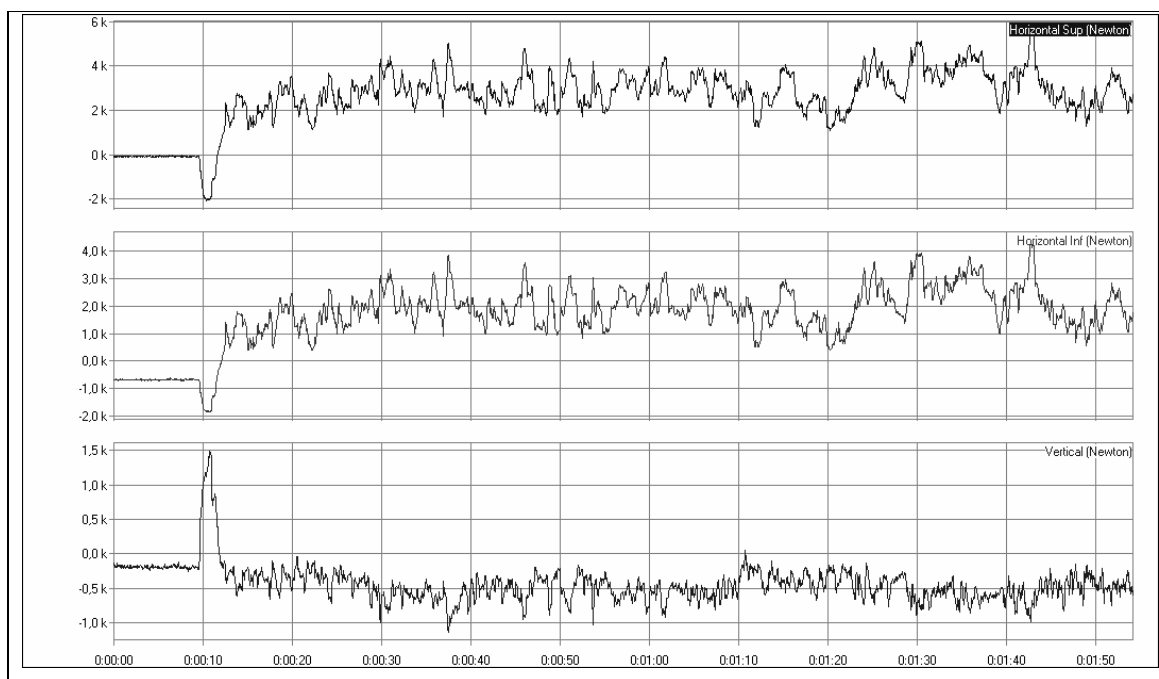
Apêndice OO – Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 31,5km.



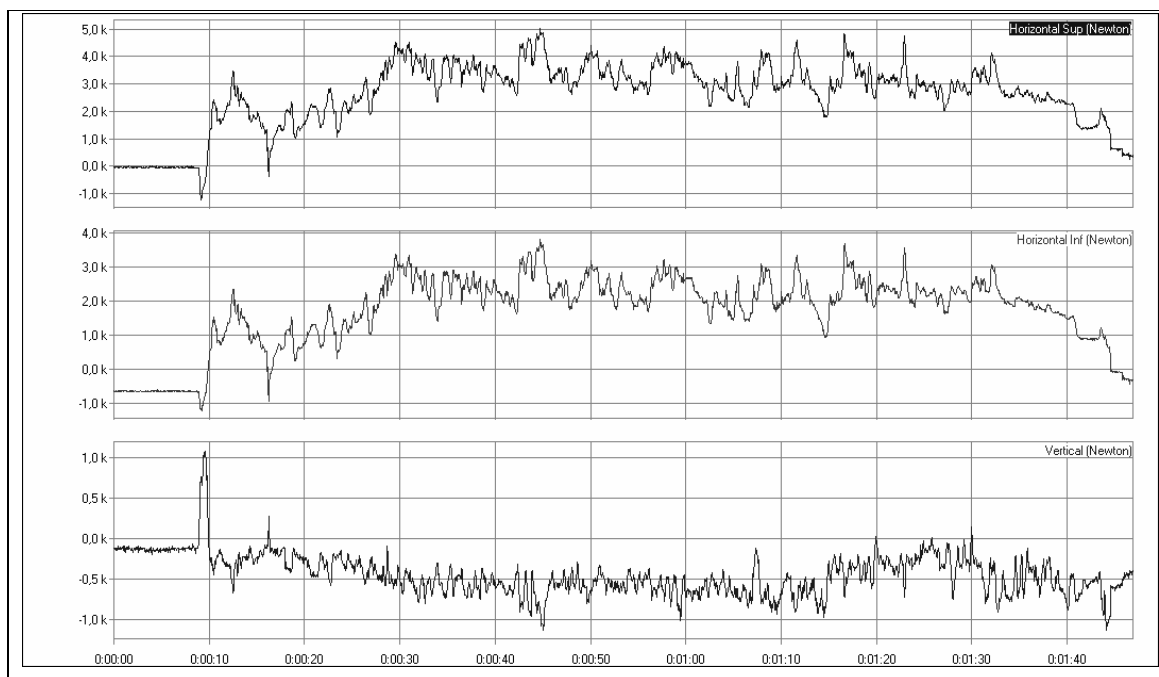
Apêndice PP – Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 31,5km.



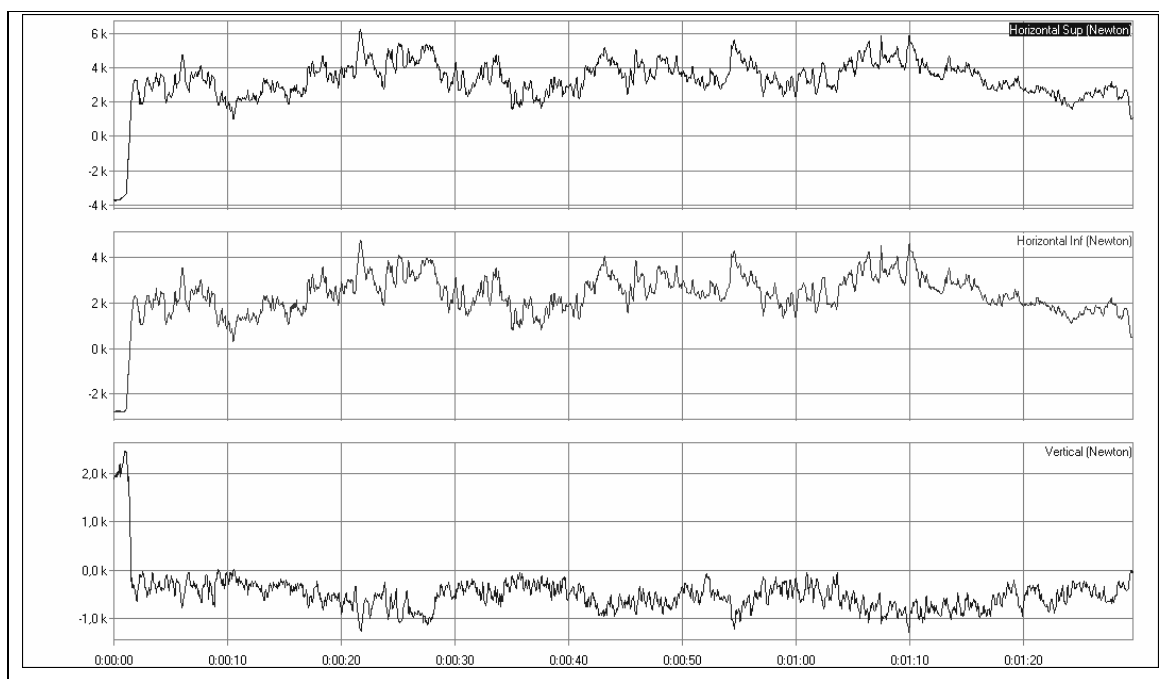
Apêndice QQ – Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 31,5km.



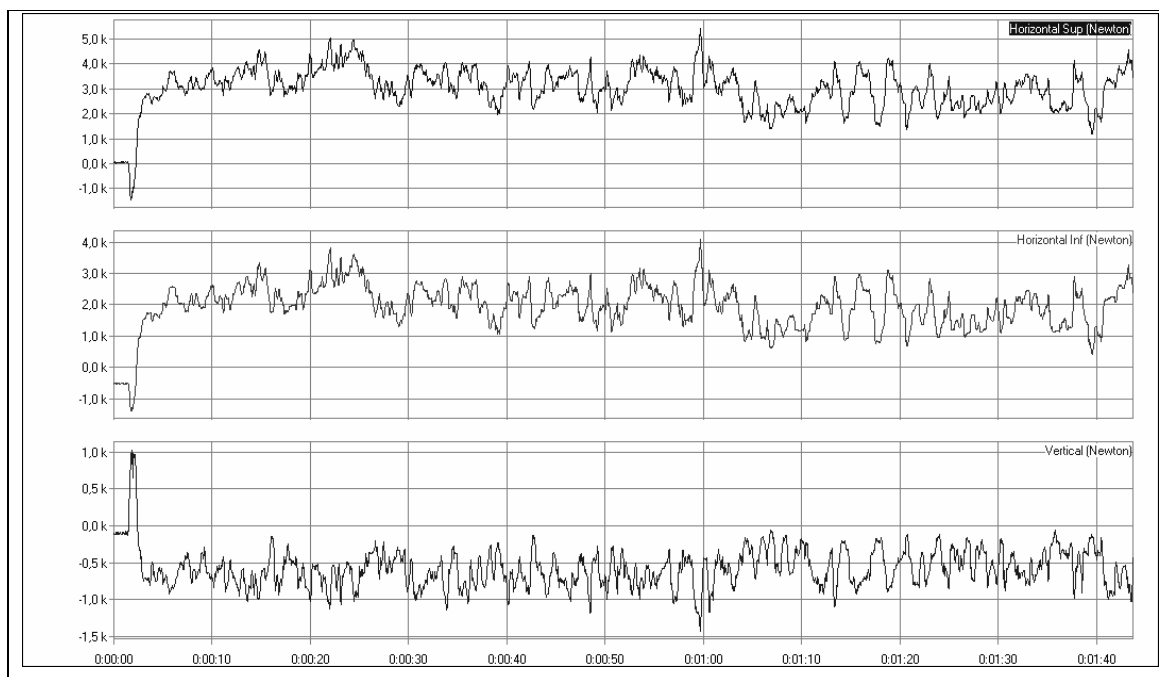
Apêndice RR – Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 31,5km.



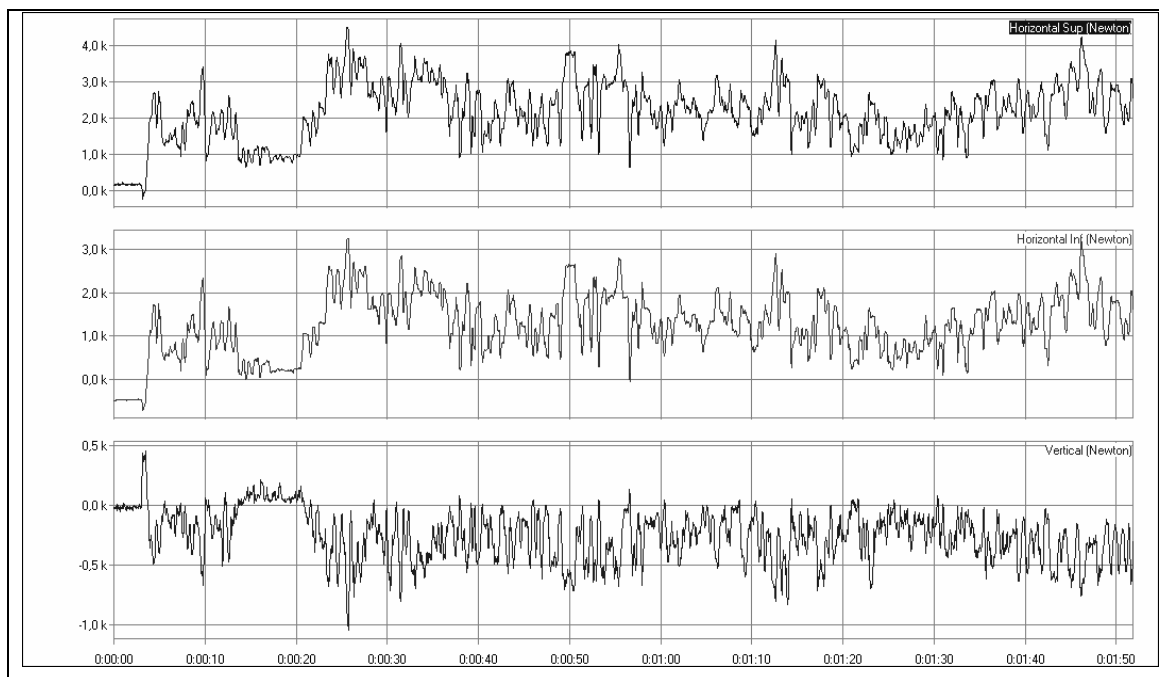
Apêndice SS – Força horizontal e vertical do conjunto Testemunha com 31,5km.



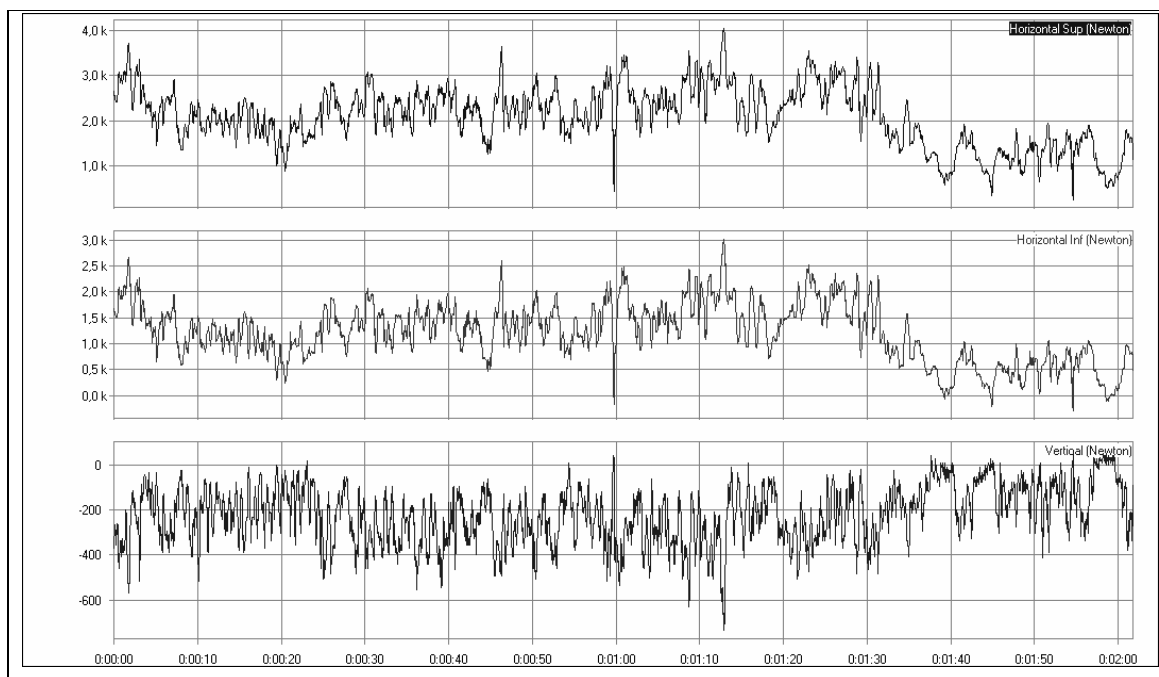
Apêndice TT – Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 42,0km.



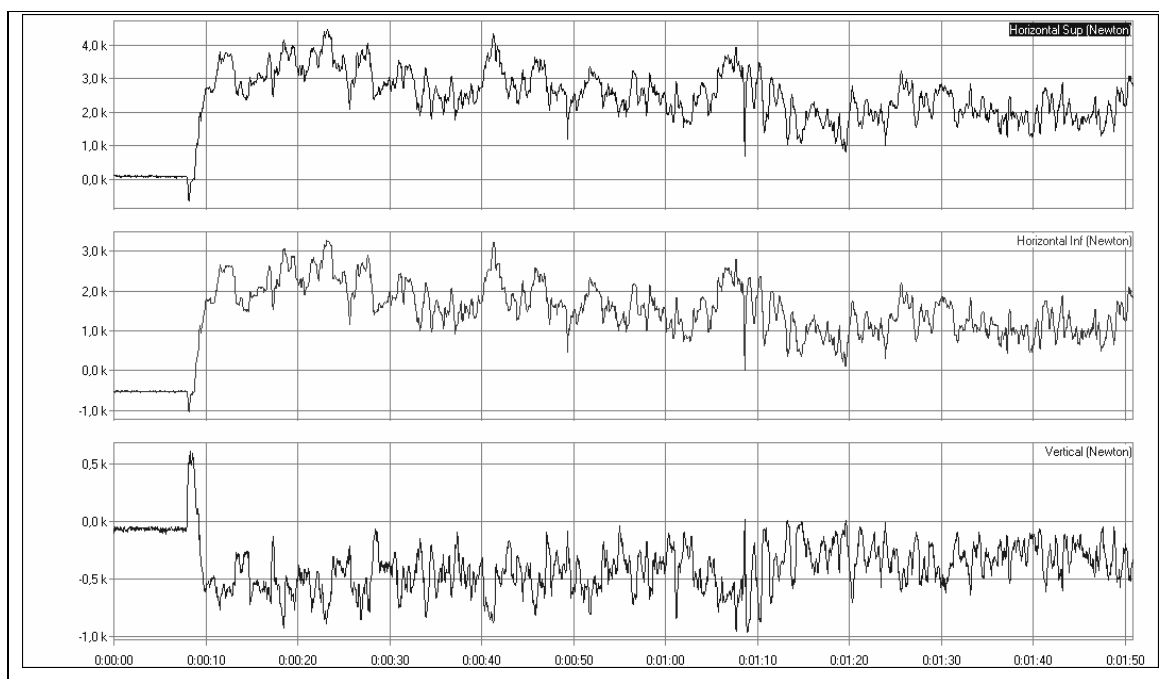
Apêndice UU – Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 42,0km.



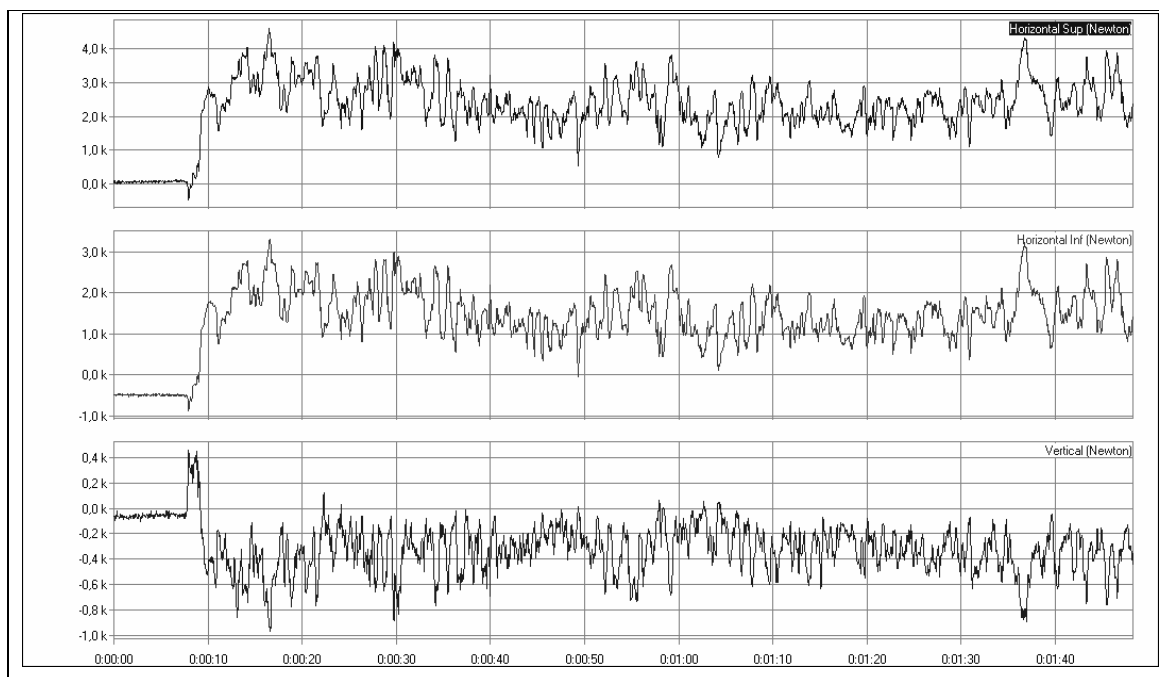
Apêndice VV – Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 42,0km.



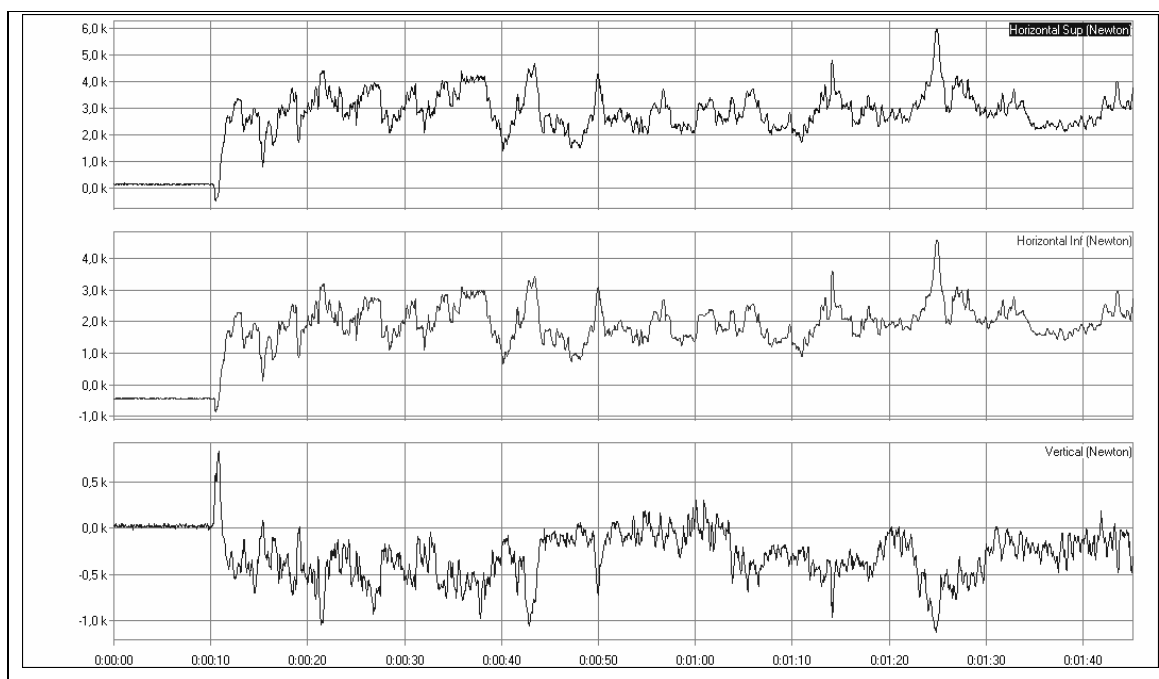
Apêndice WW – Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 42,0km.



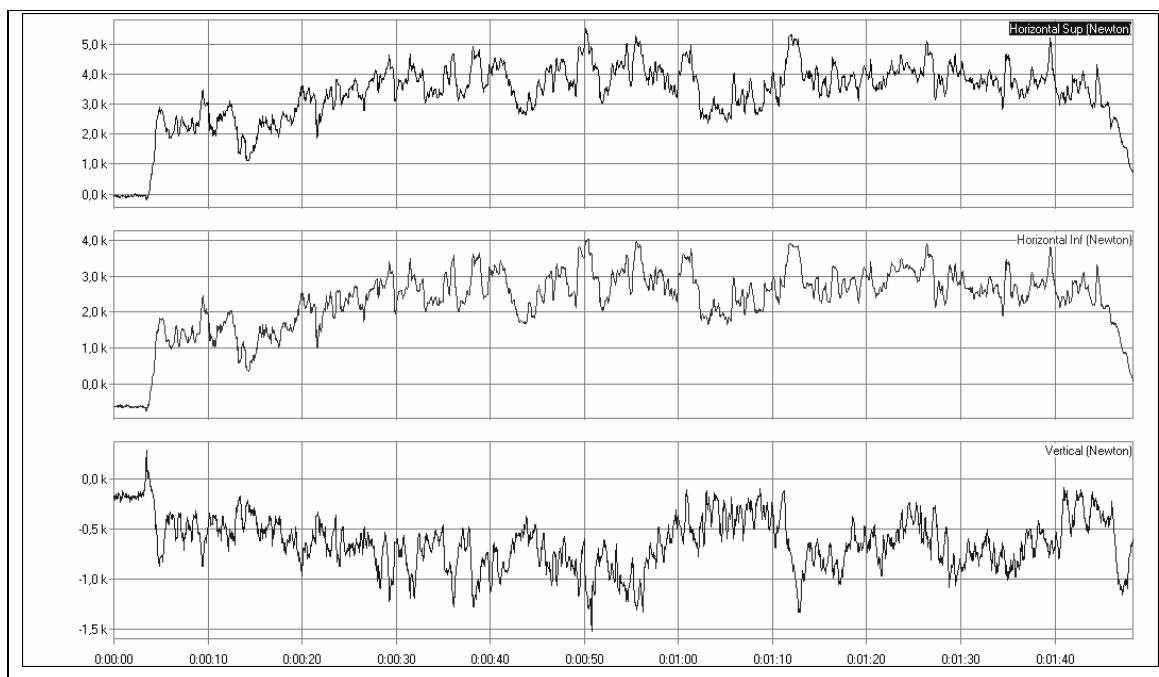
Apêndice XX – Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 42,0km.



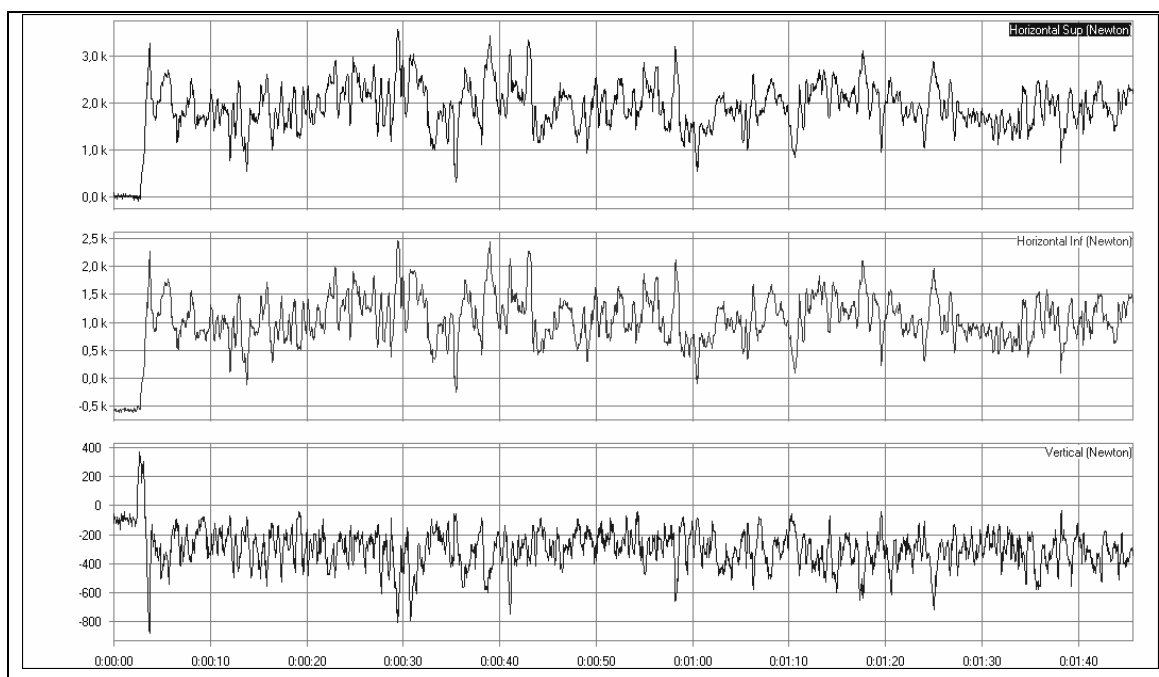
Apêndice YY – Força horizontal e vertical do conjunto Testemunha com 42,0km.



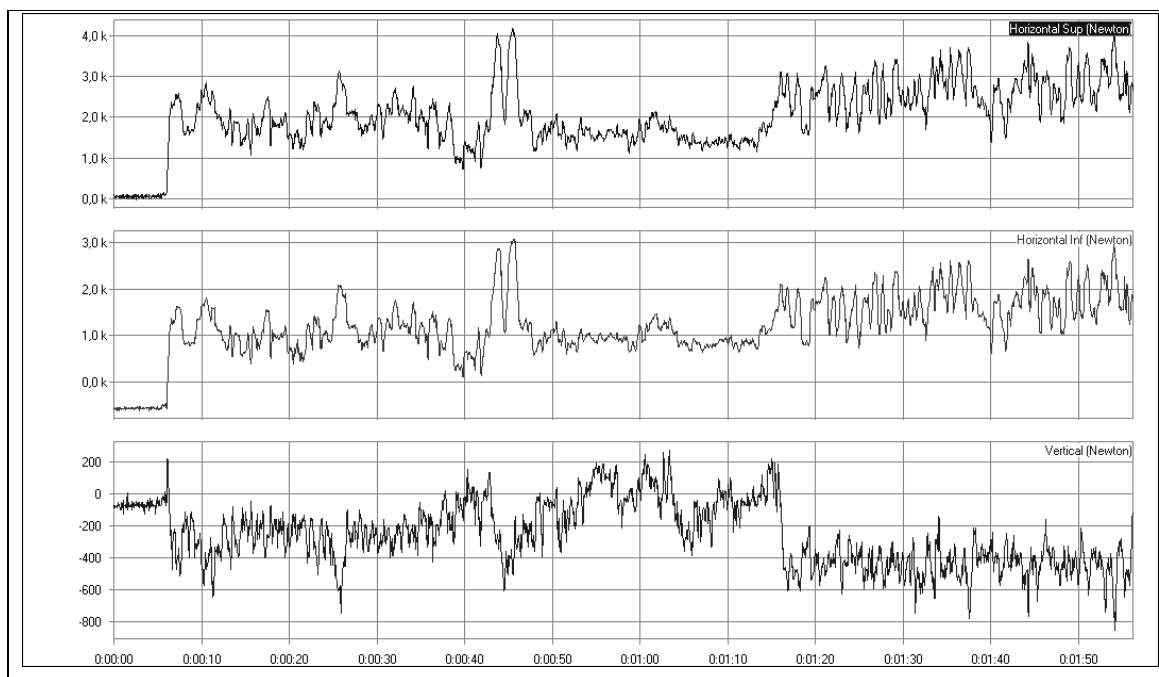
Apêndice ZZ – Força horizontal e vertical do conjunto 1 com 52,5km.



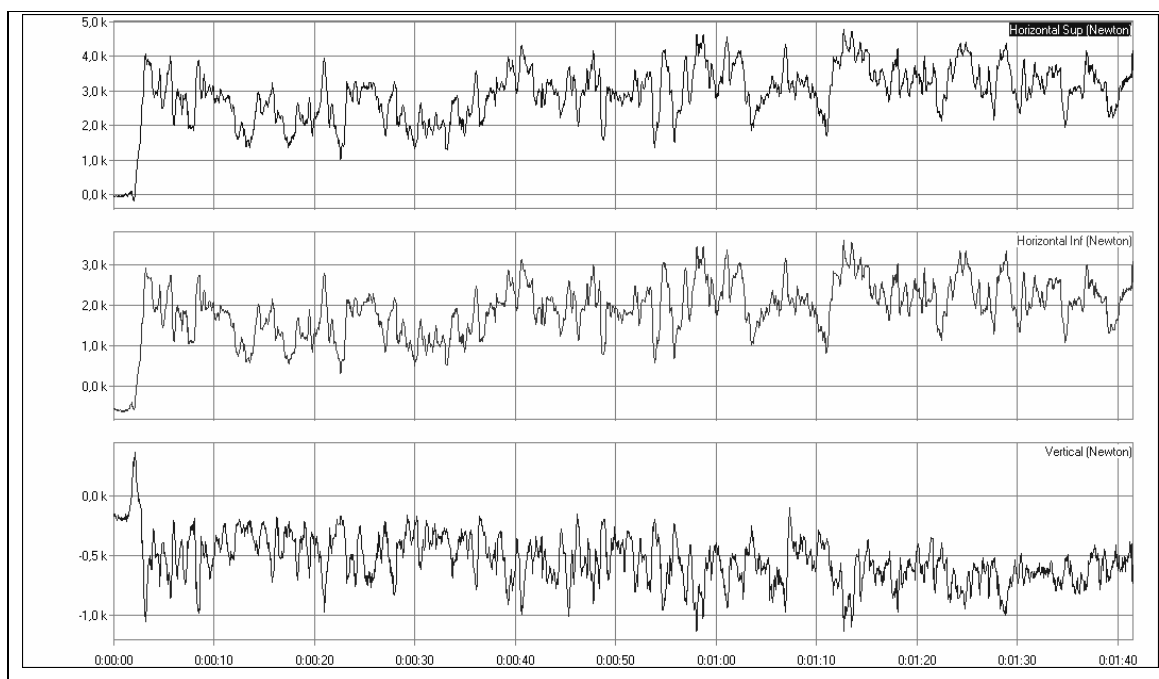
Apêndice AAA – Força horizontal e vertical do conjunto 2 com 52,5km.



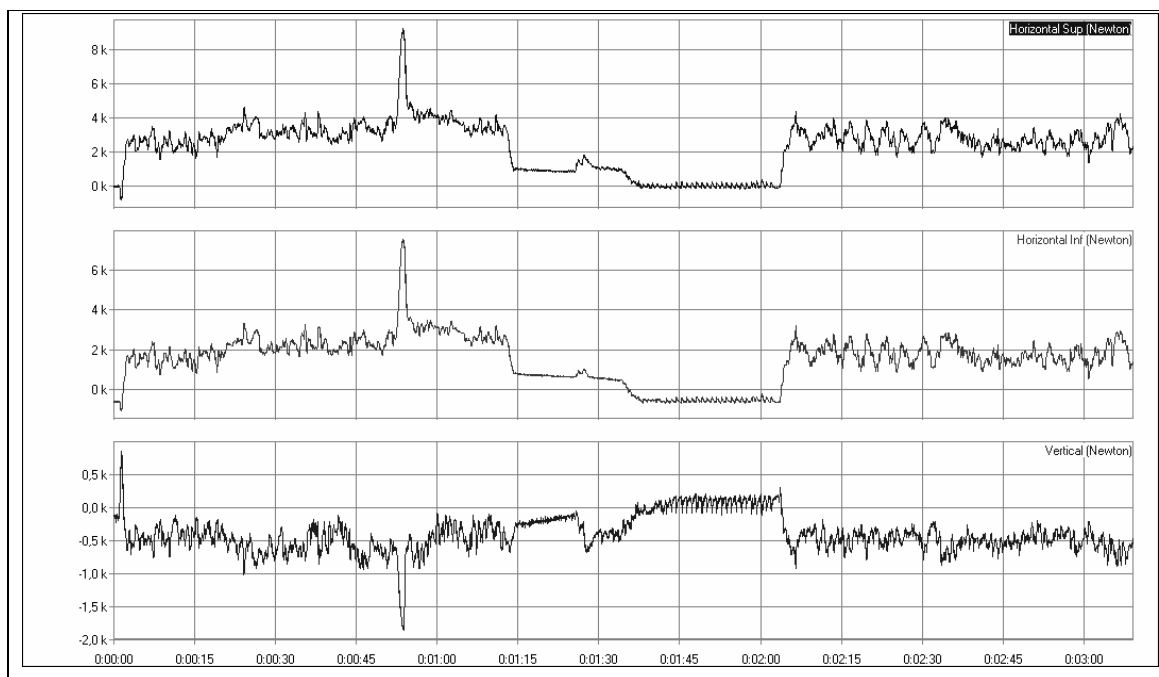
Apêndice BBB – Força horizontal e vertical do conjunto 3 com 52,5km.



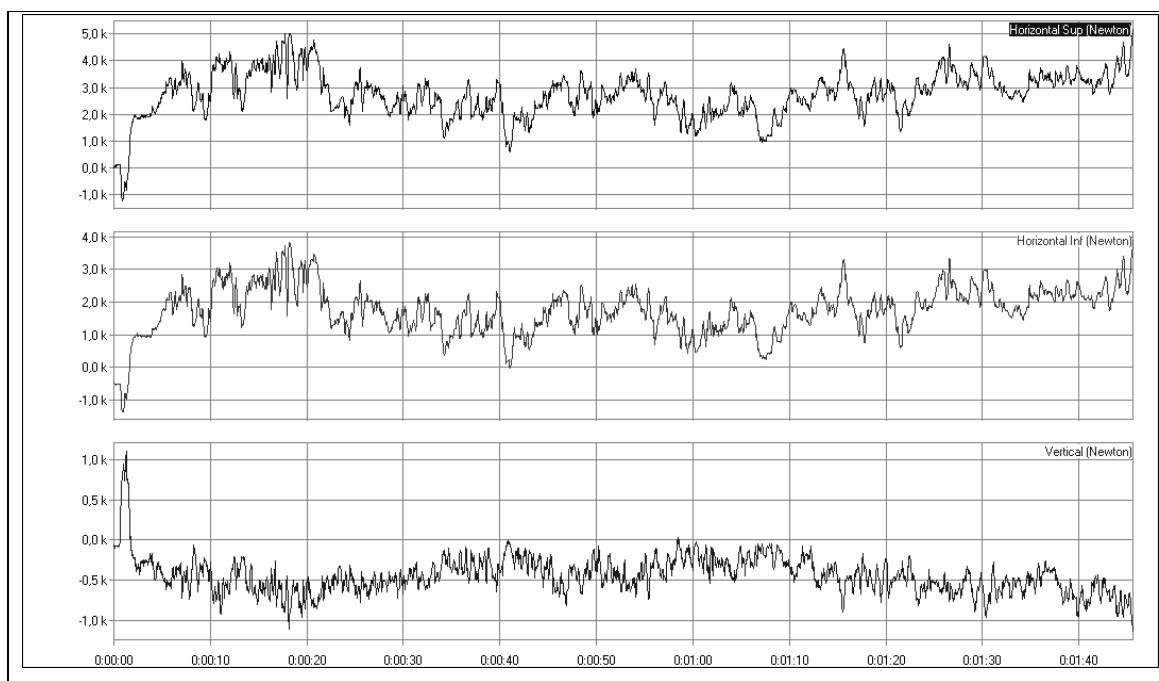
Apêndice CCC – Força horizontal e vertical do conjunto 4 com 52,5km.



Apêndice DDD – Força horizontal e vertical do conjunto 5 com 52,5km.



Apêndice EEE – Força horizontal e vertical do conjunto Testemunha com 52,5km.



9 Anexos

ANEXO A – Especificação dos eletrodos e arame tubular

Eletrodo/aramé	OK 68.84	OK 84.75	OK Tubrodur 1400
Classificação	E 312-17	DIN 8555 e UM-60-GRZ	-
Elemento	Valor típico*	Valor típico*	Valor típico*
C	0,04	3,68	4,20
Si	0,84	1,75	1,95
Mn	0,78	0,18	1,30
Cr	28,20	30,00	23,50
Ni	10,30	-	-
Mo	0,01	-	-
Dureza típica	-	60 HRC	57 HRC (2 camadas)
Uso indicado	Eletrodo para aços de baixa soldabilidade, aços ferramentas entre outros. Ideal para camada de amanteigamento antes do revestimento duro.	Eletrodo para revestimento de partes sujeita a abrasão severa.	Arame tubular autoprotégido para revestimento duro que deposita liga ferrosa com grande quantidade de carbonetos de cromo em matriz austenítica. Apresentam grande resistência a abrasão e moderado ao impacto.

Fonte: ESAB, 2008.

* Metal depositado: Valores médios estatísticos.